LETTRES DE M. EULER A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE, SUR...





NDO PIZZOFALCONE





LETTRES

DE

M. EULER,

A

UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE.

TOME TROISIEME.

Ce volume complète cette nouvelle édition des LETTRES du grand Euler sur la Physique et la Philosophie. Le quatrième volume, promis à la suite, étant tout entier de M. le Marquis de Condorcet, pourra être vendu séparément, quand l'Auteur aura eu le temps de le terminer, comme il l'a fait espérer au Public, par la moitié du volume qui a déja été lue aux séances du Lycée.

LETTRES DE M. EULER A UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE,

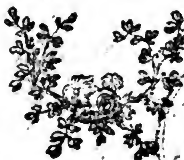
SUR DIFFÉRENTES QUESTIONS DE PHYSIQUE ET DE PHILOSOPHIE.

NOUVELLE ÉDITION,

Avec des Additions, par MM. le Marquis DE CONDORCET et DE LA CROIX.

TOME TROISIEME.



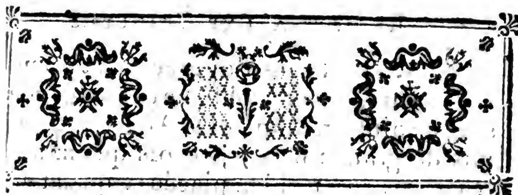




A PARIS,

Chez ROYEZ, Libraire, quai des Augustins, à la descente du Pont-neuf.

M. DCC. LXXXIX.



LETTRES

ÉCRITES

UNE PRINCESSE D'ALLEMAGNE,

SUR DIVERS SUJETS

DE PHYSIQUE ET DE PHILOLOPHIE.

LETTRE CLV.

MADAME.

OTRE ALTESSE jugera, sans doute, il est tems de quitter l'électricité ; aussi -je plus rien à dire sur ce sujet ; mais e suis pas sans embarras pour trouver matière digne de votre attention.

e crois que pour ce choix, je dois avoir d aux matières qui intéressent le plus connaissances, et dont les écrivains ent souvent ; et par conséquent sur ıelles il est à propos que les personnes ualité soient suffisamment instruites.

V. A. ayant sans doute souvent entendu parler du fameux problême des longitudes, sur la solution duquel les Anglais ont promis de grands prix, je crois que mes instructions seront bien placées, quand elles tendront à la mettre au fait de cette question importante, liée si étroitement avec la connaissance de notre globe qu'il n'est pas permis de l'ignorer. J'aurai en même-tems l'occasion d'expliquer quantité d'articles intéressans, dont l'éclaircissement fera plaisir à V. A.

Je commencerai donc par une description générale de la terre; qui peut être regardée comme un globe, quoiqu'on ait trouvé dans ces derniers tems, que sa véritable figure est un esphéroïde tant soit peu applatie; mais la différence est si petite, que nous pouvons bien la laisser de côté.

Nous devons remarquer premièrement sur le globe terrestre, les deux points placés sur sa surface, nommée les deux poles de la terre. C'est autour de ces deux points, qu'elle tourne chaque jour, comme tournerait un globe fixé entre les deux pointes d'un tour; ce mouvement est nommé le mouvement journalier ou diurne de la terre, dont chaque révolution s'achève environ en 24 heures. Ou si nous voulons parler selon les apparences, V. A. sait que le ciel, que nous regardons comme une

boule creuse au milieu de laquelle se trouve la terre, paraît tourner autour d'elle et ce mouvement se fait aussi autour de deux points fixes dans le ciel, qu'on nomme les poles; et si nous concevons une ligne droite tirée d'un des poles du ciel à l'autre, elle passera par le milieu de la terre.

V. A. comprend aisément que les apparences doivent être les mêmes, que la terre tourne autour de ses poles, le ciel restant en repos, ou que le ciel tourne autour des siens, la terre demeurant en repos. L'une et l'autre considération nous conduit également à la connaissance des poles de la terre, sur laquelle l'astronomie et la géographie sont fondées.

La *fig.* 1. *planche I.* représente le globe de la terre, dont les poles sont les points A et B; l'un de ces poles A est nommé le *pole austral* ou *méridional*, et aussi *pole antarctique*. L'autre pole B est nommé *boréal*, ou *septentrional* ou *pole arctique;* ce dernier est le plus proche des endroits que nous habitons.

Remarquons que ces deux poles sont directement opposés l'un à l'autre; et que si l'on tirait une ligne droite de l'un A et de l'autre B, au-dedans de la terre, elle passerait précisément par le milieu C, c'est-à-dire, par le centre de la terre. Cette

ligne droite AB se nomme *axe de la terre*, et étant prolongée de part et d'autre jusqu'au ciel, elle y marquera les points qu'on nomme poles du ciel, et auxquels on donne les mêmes noms qu'à ceux de la terre.

Ces deux poles de la terre ne sont pas une simple fiction, ni une spéculation des astronomes et des géographes, mais plutôt des points très-essentiels, marqués sur la surface de notre terre; car nous savons que plus on s'en approche plus les contrées deviennent froides, de sorte que les pays qui sont autour sont absolument inhabitables, à cause du froid excessif qui qui y regne : aussi ne trouve-t-on pas d'exemples qu'aucun voyageur ni aucun vaisseau ait pu parvenir jusqu'à l'un ou l'autre des poles; on peut donc dire que ces deux endroits de la terre sont absolument inaccessibles.

Ayant ainsi déterminé les deux poles de la terre A et B on la conçoit partagée en deux hémisphères comme DBE et DAE, dont chacun a pour sommet l'un des poles. En effet, si on imagine que la terre soit coupée par son centre C, de sorte que la section soit perpendiculaire à l'axe; cette section marquera, sur sa surface, un cercle qui passe tout autour d'elle, et qui est éloigné par-tout également des deux poles.

Ce cercle qui entoure la terre par son mi-
lieu porte le nom d'*équateur*; les pays
qui en sont près sont les plus chauds, et
presqu'inhabitables, à ce que croyaient
es anciens, mais aujourd'hui, on les
rouve assez habités, quoique la chaleur
 soit presqu'insupportable.

En s'éloignant de l'équateur de part et
l'autre vers les poles, les contrées sont de
lus en plus tempérées; mais lorsqu'on
pproche trop, on rencontre de très-grands
roids.

Comme l'équateur partage la terre en
eux hémisphères, chacun porte le nom
u pole qui s'y trouve; ainsi la moitié
BE, qui contient le pole boréal, est
ommée *hémisphère boréal*, dans lequel
st située l'Europe, presque toute l'Asie,
ne partie de l'Afrique et la moitié de
Amérique. L'autre hémisphère DAE est
ommé *hémisphère méridional* ou *austral*,
 contient la plus grande partie de l'Afri-
ue, l'autre moitié de l'Amérique et plu-
eurs isles, qu'on rapporte à l'Asie, com-
e V. A. l'aura vu sur la mappe-monde.

le 18 *Août* 1761.

LETTRE CLVI.

Après avoir bien fixé l'idée des poles et de l'équateur, que V. A. peut mieux s'imaginer sur un globe que je ne puis le représenter par une figure, les autres idées dont nous avons besoin en suivront aisément.

Je dois cependant y ajouter encore un plus grand éclaircissement. L'axe de la terre passant d'un pole à l'autre par le centre, en est le diamêtre, et par conséquent, deux fois plus grand que le rayon; on estime le rayon de la terre, ou la distance de chaque point de la surface au centre de 860 milles (*a*) d'Allemagne; l'axe de la terre contiendra donc 1720 milles d'Allemagne. Et l'équateur étant un cercle dont le centre répond à celui de la terre, il aura le même rayon, savoir, de 860 milles, le diamêtre de l'équateur sera aussi de 1720 milles; toute la circonférence de l'équateur contiendra 5400 milles, ou si l'on voulait faire le tour de la terre en suivant l'équateur, il faudrait parcourir un chemin de 5400 milles; on

(*a*) Ou 1432 lieues communes de France. L'axe de la terre en contiendra 2868, et l'équateur aura 9000 lieues de circonférence.

peut juger par-là de la grandeur de la terre.

L'équateur étant un cercle, on le divise en 360 parties égales, qu'on nomme *dégrés*; un dégré de l'équateur contient donc précisément 15 milles d'Allemagne, puisque 15 fois 360 font 5400 (*a*).

Chaque dégré est encore subdivisé en 60 parties égales, qu'on nomme *minutes*, de sorte que chaque minute contient la quatrième partie d'un mille d'Allemagne, ou environ 6000 pieds; une *seconde*, étant la soixantième partie d'une minute, contiendra 100 pieds.

Dans l'impossibilité de représenter sur le papier un globe autrement que par un cercle, V. A. y suppléera par l'imagination. Ainsi, B, A, *fig. 2*, *planche I.* étant les deux poles de la terre; B, le boréal et A, l'austral; DMNE représentera l'équateur, ou plutôt la moitié qui en est tournée vers nous, l'autre nous étant cachée de l'autre côté.

La ligne DMNE nous représente donc un demi-cercle aussi bien que BDA et BEA, tous ces demi-cercles ayant leurs centres à celui du globe C. On peut s'imaginer une infinité d'autres demi-cercles,

(*a*) Le dégré de la terre contient 25 lieues communes de France.

tous tirés par les deux poles A et B de la terre et passant par tous les points de l'équateur BMA, BNA; ceux-ci seront tous sembables aux premiers BDA et BEA; quoique dans la figure, leurs traits soient très-différens, l'imagination doit y suppléer, car la chose est très-évidente sur un globe.

Tous ces demi-cercles tirés d'un pole à l'autre, par quelque point de l'équateur qu'ils passent, sont nommés *méridiens*; ou plutôt, un *méridien* n'est autre chose qu'un demi-cercle qui, sur la surface de la terre, est tiré d'un pole à l'autre; et V. A. comprend que, prenant un lieu quelconque sur la surface de la terre, comme le point L, on peut toujours concevoir un méridien BLMA qui, passant par les deux poles, traverse ce lieu L. On nomme alors ce méridien, *le méridien du lieu* L. Si par exemple L. était Berlin, le demi-cercle BLMA serait le méridien de Berlin; et ainsi de même par rapport à tous les autres lieux de la terre.

V. A. peut se représenter un globe, sur la surface duquel sont dessinés tous les pays de la terre, le continent aussi bien que la mer avec ses isles. Ce globe artificiel, qu'on appelle *globe terrestre*, ne peut pas être inconnu à V. A. Quand à tous les méridiens, qu'on peut y conce-

oir, et dont un grand nombre sont tracés
remarque, que chacun étant un demi-
rcle, est partagé par l'équateur en deux
rties égales, dont chacune se trouve
re un quart de cercle, c'est-à-dire,
arc de 90 dégré. Ainsi BD, BM, BN,
E sont des quarts de cercle, aussi bien
le AD, AM, AN et AE; chacun
ntient donc 90 dégrés: on peut encore
outer que chacun est perpendiculaire à
quateur, ou fait avec lui des angles
oits.

De plus, si l'on voulait voyager du point
l'équateur M jusqu'au pole B, le plus
urt chemin serait de suivre la route du
éridien MLB, qui étant un arc de 90
grés, et un dégré contenant 15 milles
Allemagne, contiendrait 1350 milles (*a*),
'il faudrait parcourir pour aller de l'é-
ateur jusqu'à l'un des poles.

V. A. se souviendra que le plus court
emin d'un lieu à l'autre, est la ligne
oite tirée par ces deux lieux; ici la ligne
oite tirée du point M de l'équateur jus-
'au pole B tomberait au-dedans de la
re, route impossible à suivre, parce
nous sommes tellement attachés à la
face de la terre, que nous ne saurions
as en écarter. C'est pourquoi la ques-

(*a*) Ou 2250 lieues communes de France.

tion devient bien différente, quand il s'agit du plus court chemin qui conduit d'un endroit à l'autre sur la surface d'un globe. Ce plus court chemin n'est plus une ligne droite, mais un arc de cercle tiré d'un endroit à l'autre sur sa surface, et dont le centre tombe précisément dans le centre du globe même. Cela est aussi parfaitement d'accord avec le cas dont il s'agit ici; car pour voyager du point M de l'équateur jusqu'au pole B; l'arc du méridien MLB, que j'ai dit être le chemin plus court, est effectivement un arc de cercle dont le centre se trouve au centre de la terre.

De même, si nous considérons le lieu L situé dans le méridien BLMA, le plus court chemin pour aller de-là jusqu'au pole B, sera l'arc LB; et sachant le nombre de dégrés que cet arc contient, en comptant 15 milles pour chaque dégré (*a*), on aura la longueur du chemin. Mais si l'on voulait aller de ce même lieu à l'équateur, par le plus court chemin, il faudrait suivre la route de l'arc du méridien LM, dont le nombre de dégrés, en comptant 15 milles par chaque, donnerait la longueur du chemin.

On se contente d'exprimer ces chemins

(*a*) Ou 25 lieues communes de France.

ır dégrés, puisqu'il est si aisé de les ré-
uire en milles d'Allemagne, et que d'au-
es nations se servent de milles plus grands
u plus petits. Ainsi, prenant la ville de
erlin pour le lieu L, on trouve que l'arc
M qui conduit à l'équateur, contient
2 dégrés et demi; par conséquent pour
ler de Berlin à l'équateur, le plus court
hemin est de 787 milles et demi. Mais si
on voulait aller de Berlin au pole boréal
u septentrional B, il faudrait suivre la
oute de l'arc BL, qui contenant 37 dé-
rés et demi, fera 562 milles et demi. Ces
eux chemins donnent ensemble 1350 mil-
s pour la longueur de l'arc BLM, qui
st un quart de cercle de 90 dégrés, dont
valeur est, comme nous avons vu, de
350 milles d'Allemagne.

le 22 *Août* 1761.

LETTRE CLVII.

E commence encore par la même figure,
anche I, fig. 3, qui sera déja bien fa-
ilière à V. A. Le cercle entier représente
globe de la terre; les points A et B, ses
ux poles; B le pole boréal, septentrional
arctique; A le pole austral, méridional,

on antarctique; de sorte que la ligne droite BA tirée au-dedans de la terre et passant par son centre C en est l'axe. Ensuite D ME est l'équateur qui la divise en deux hémisphères, l'un DBE boréal et l'autre DAE méridional.

Considérons maintenant un lieu quelconque L et tirons son méridien BLMA, qui étant un demi-cercle, passe par ce lieu L et par les deux poles B et A. C'est donc le méridien du lieu L, partagé par l'équateur en M en deux parties égales faisant deux quarts de cercle, dont chacun contient 90 dégrés. Ensuite je remarque que l'arc LM de ce méridien nous donne la distance du lieu L à l'équateur, et que l'arc LB exprime la distance du même lieu L au pole B.

Cela posé, il est bon d'observer que l'arc LM, ou la distance de L à l'équateur est nommé la *latitude du lieu* L; de sorte que la latitude d'un lieu sur la terre n'est autre chose que l'arc du méridien de ce lieu, qui est intercepté entre l'équateur et le lieu proposé; ou bien la latitude d'un lieu est la distance de ce lieu à l'équateur, en exprimant cette distance par dégrés, dont nous connaissons la valeur puisque chaque dégré contient 15 milles d'Allemagne.

V. A. comprend aisément, qu'il faut

listinguer cette distance, selon que le lieu e trouve ou dans l'hémisphère boréal, ou lans l'hémisphère austral; dans le premier cas, si le lieu proposé est dans l'hénisphère boréal ou *septentrional*, on dit ju'il a une *latitude boréale*; mais s'il est lans l'hémisphère austral ou méridional, on dit que sa *latitude* est *méridionale*.

Ainsi, quand il est question de Berlin, on dit que sa latitude boréale est de 52 dégrés et 31 minutes; la latitude de Magdebourg est aussi *boréale* de 52 dégrés et 9 minutes. Mais celle de Batavia aux ndes orientales est *méridionale* et de 6 dérés 15 minutes; celle du Cap de bonne ſpérance en Afrique est aussi *méridionale* t de 34 dégrés 15 minutes.

Je remarque ici en passant, que pour bréger, au lieu du mot *dégré* on met un etit zéro (°), et au lieu du mot *minute* ine petite barre ('), et s'il y a des *secondes*, on en met (''); c'est ainsi que la latitude le Paris à l'Observatoire est 48° 50' 10'' B. e qui veut dire 48 dégrés, 50 minutes et o secondes boréales. Il y a au Pérou un ndroit nommé Vlo, dont on a trouvé la ititude de 17°. 36'. 15'' M. ou bien 17 dérés 36 minutes et 15 secondes méridionaes. D'où V. A. comprend, que si l'on arlait d'un lieu, dont la latitude fût 0°. '. 0''. ce lieu serait précisément sous l'é-

quateur, puisque sa distance de l'équateur est zéro ou nulle; et il n'est pas nécessaire d'y ajouter la lettre B ou M. Mais si l'on parvenait à un lieu, dont la latitude fut 90° B, ce lieu serait précisément le pole boréal même de la terre, qui est éloigné de l'équateur d'un quart de cercle ou de 90 dégrés. V. A. entendra parfaitement à présent, ce que c'est que la latitude d'un lieu, et pourquoi on l'exprime par dégrés, minutes et secondes.

Il est très-important de connaître la latitude de chaque lieu, non-seulement pour assigner à chacun sa vraie place sur les cartes géographiques, mais parce que c'est d'elle que dépendent les saisons de l'année, l'inégalité des jours et des nuits, et par conséquent la température des lieux. Il n'y a presque point de variation dans les saisons pour les endroits situés sous l'équateur même, et pendant toute l'année les jours et les nuits y sont de même durée, savoir de 12 heures; c'est pourquoi l'équateur est aussi nommé la ligne équinoxiale; mais plus on s'éloigne de l'équateur, plus la différence entre les saisons de l'année devient marquée, et plus aussi les jours surpassent les nuits en été, et réciproquement, en hyver, les jours sont plus courts que les nuits.

V. A. sait que les plus longs jours sont

u commencement de l'été vers le 12 de
uin : conséquemment les nuits sont alors
es plus courtes ; au commencement de
hyver au contraire, vers le 23 de Décem-
re, les jours sont les plus courts et les
uits les plus longues : de manière que,
ar-tout, le plus long jour est égal à la
lus longue nuit. Or en chaque lieu, la
urée du plus long jour dépend de la lati-
ude du lieu. Le plus long jour à Berlin
st de 16 heures 38 minutes, et par con-
équent le plus court en hyver est de 7
eures 22 minutes. Aux endroits plus près
e l'équateur, ou dont la latitude est
oindre que celle de Berlin, qui est 52°.
2', le plus long jour en été a moins de
5 heures 38 minutes, et en hyver le jour
plus court a plus de 7 heures 22 minu-
s. Il arrive le contraire aux endroits plus
oignés de l'équateur ; à Petersbourg,
ar exemple, dont la latitude est 60 dé-
rés, le plus long jour est de 18 heures 30
inutes et par conséquent la nuit n'est
ors que de 5 heures 30 minutes ; en hy-
er au contraire la nuit la plus longue y
t de 18 heures 30 minutes et le jour n'est
ors que de 5 heures 30 minutes. Si l'on
éloigne encore davantage de l'équateur,
qu'on parvienne à un lieu dont la lati-
de soit de 66°. 30', le plus long jour y
t précisément de 24 heures ; ou bien le

soleil ne s'y couche pas alors ; tandis qu'en hyver le contraire arrive ; le soleil ne s'y levant point du tout le 23 Décembre, et la nuit durant alors 24 heures. Or dans les lieux encore plus éloignés de l'équateur et conséquemment plus proches du pole, comme Wardhus dans la Laponie suédoise, ce plus long jour de 24 heures y dure plusieurs jours de suite, pendant lesquels le soleil ne se couche absolument pas ; et la plus longue nuit, où le soleil ne se lève pas du tout, est de la même durée.

Si nous pouvions arriver au pole même, nous y aurions du jour pendant six mois de suite, et pendant les six autres une nuit continuelle. V. A. doit en conclure combien il est important de bien connaître la latitude de tous les lieux de la terre.

le 22 *Août* 1761.

LETTRE CLVIII.

AYANT eu l'honneur de dire à V. A. que pour trouver le méridien d'un lieu proposé L, il faut tirer sur la surface de la terre un demi-cercle BLMA, qui passe par les deux poles B et A, et par le lieu proposé L ; je remarque, *fig.* 4, *planche I*, qu'il y

a une infinité d'autres endroits par lesuels ce même méridien passe, et qui par onséquent sont dits tous situés sous le ıême méridien, soit dans l'hémisphère oréal entre B et M, soit dans l'hémisıère méridional ou austral entre M et A.

Or tous les lieux situés sous un même éridien diffèrent en latitude, les uns étant us proches ou plus éloignés de l'équaur que les autres. C'est ainsi que le médien de Berlin passe par la ville de Meis-, à-peu-près par le port de Trieste, et quantité d'autres lieux moins remarables.

V. A. voit aussi que bien des lieux peuıt avoir la même latitude, ou être égaıent éloignés de l'équateur, mais qu'ils ıt tous situés sous des méridiens différs. En effet, si L est la ville de Berlin, ıt la latitude ou l'arc L M contient 52°. , on peut assigner sous tout autre méen BNA, un lieu I, dont la latitude ou c I N soit aussi de 52°. 31′; tels sont les ıts F et G pris dans les méridiens BDA 3 E A. Et comme on peut tirer par ıue point de l'équateur un méridien, lequel il y aura un endroit dont la ıde sera la même que celle de Berlin lu lieu L, on aura une infinité de x, qui auront tous la même latitude. eront tous situés dans un cercle FLIG, les points étant tous également éloi-

gnés de l'équateur, est nommé *cercle parallele* à l'équateur, ou simplement un *parallele*. Un parallele sur la terre n'est donc autre chose qu'un cercle parallele à l'équateur, ou dont tous les points en sont également éloignés; d'où il est clair que tous les points d'un parallele sont aussi également éloignés des poles de la terre.

Comme on peut tirer dans chaque lieu de la terre un tel parallele, on peut en concevoir une infinité, qui différent tous entr'eux par rapport à la latitude, chacun ayant une latitude, soit boréale, soit australe, qui lui est propre.

V. A. comprend aussi que plus la latitude est grande, ou plus on approche de l'un des poles, plus les paralleles deviennent petits, jusqu'à ce qu'enfin aux poles mêmes, où la latitude est de 90°, ces paralleles se réunissent dans un seul point. Mais, au contraire, plus on approche de l'équateur, ou plus la latitude est petite, plus aussi les paralleles sont grands, et ils se confondent enfin avec l'équateur même, lorsque la latitude est zero ou nulle. C'est aussi par la latitude qu'on les distingue, ainsi le parallele de 30 dégrés est celui qui passe par tous les lieux dont la latitude est de 30 dégrés, l'on doit pourtant s'expliquer, si l'on parle d'une latitude boréale, ou d'une latitude méridionale.

En consultant les cartes géographiques, . A. verra qu'Hanovre est situé sous le iême parallele que Berlin, la latitude e l'un et de l'autre étant 52° 31', et que :s villes de Brunswig et d'Amsterdam ombent presque sous le même parallele; ıais que les méridiens qui passent par :s endrois sont différens. Connaissant : méridien et le parallele sous lequel un eu est situé, on en sait la véritable place ır la terre. Si l'on nous disait par exemle qu'un certain endroit est situé sous le éridien BNA et sous le parallele FLG, ı n'aurait qu'à voir ou le méridien BNA t coupé par le parallele FLG, et l'inrsection I donnera la véritable place de :ndroit proposé.

C'est de ce moyen dont se servent les :ographes pour déterminer la véritable ısition de tous les endroits de la terre. ne s'agit que d'en connaître le parallele, ı la latitude, et le méridien qui lui réond. Pour le parallele, il est aisé de le arquer et de le distinguer de tous les ıtres; on n'a qu'à indiquer la latitude ı la distance de l'équateur qui sera boale ou méridionale : mais comment pour-t-on décrire un méridien et le distin:er de tous les autres? Ils se ressemblent .rfaitement, ils sont tous égaux, entr'eux, aucun ne porte une marque essentielle éférablement aux autres. Il dépend donç

uniquement de notre bon plaisir de choisir un certain méridien et de le fixer, pour en déduire tous les autres. Si par exemple, dans la figure indiquée au commencement de cette lettre, on choisissait le méridien BDA, il serait aisé de nous donner une description de tout autre méridien comme BMA, on n'aurait qu'à nous indiquer dans l'équateur l'arc DM, compris entre le méridien fixe BDA et celui dont il est question BMA, pourvû qu'on ajoute en quel sens on doit partir du méridien fixe, pour passer à l'autre, si cest vers l'orient ou vers l'occident.

On nomme ce méridien fixe, duquel on compte tous les autres, *le premier méridien*, et puisque le choix de ce premier méridien est arbitraire V. A. ne sera pas surprise, si les diverses nations ne sont pas d'accord là-dessus. Les Français ont choisi pour cet effet l'Isle de Fer qui est une des Canaries, et c'est de cette isle qu'ils tirent leur premier méridien. Les Allemands et les Hollandois font passer le leur par une autre isle des Canaries, nommée Tériffe. Mais soit qu'on suive les Français ou les Allemands, il faut toujours bien marquer sur l'équateur le point par lequel passe le premier méridien; de ce point on compte ensuite par dégrés, les points par lesquels passent tous les autres méridiens; et tant les Français que les Alle-

mands, tous sont d'accord à compter de l'occident vers l'orient.

Si donc le demi-cercle BDA était dans notre figure le premier méridien, et que les points de l'équateur M et N fussent situés vers l'orient, on n'a pour marquer tout autre méridien BMA, qu'à indiquer la grandeur de l'arc DM, et cet arc est ce qu'on nomme la *longitude* de tous les lieux situés sous le méridien BMA. S'il était question des lieux situés sous le méridien BNA, leur longitude serait l'arc de l'équateur DN exprimé en dégrés, minutes et secondes.

le 29 *Août* 1761.

LETTRE CLIX.

V. A est bien instruite à présent de ce u'on nomme la latitude et la longitude 'un lieu sur la terre. La latitude se come sur le méridien du lieu proposé jusı'à l'équateur, ou bien elle est la disıce du parallele qui passe par le lieu oposé à l'équateur, et pour ôter toute ıbiguité, il faut ajouter si cette distance latitude est boréale ou méridionale.

Pour la longitude, il faut voir combien méridien du lieu proposé est éloigné premier méridien; et on compte cet

éloignement sur l'équateur, depuis le premier méridien jusqu'au méridien proposé, en allant toujours de l'occident à l'orient; ou bien la longitude est la distance du méridien du lieu proposé depuis le premier, en comptant les dégrés sur l'équateur, comme je viens de le dire.

On compte donc toujours du premier méridien vers l'orient, et V. A. comprend que quand on aura compté jusqu'à 360 dégrés, on retournera précisément au premier méridien, puisque 360 dégrés achèvent toute la circonférence de l'équateur: ainsi, quand on parlerait d'un endroit dont la longitude serait 359 dégrés, le méridien de cet endroit ne serait éloigné du premier méridien que d'un dégré, mais vers l'ouest ou l'occident; de même 350° de longitude conviennent avec une distance de 10° vers l'ouest ou l'occident. C'est donc pour éviter toute ambiguité, que, dans la détermination des longitudes, on continue de compter jusqu'à 360° vers l'orient.

V. A. sera sans-doute curieuse de savoir pourquoi les géographes se sont accordés d'établir le premier méridien par quelqu'une des isles Canaries? J'ai l'honneur de lui répondre, qu'on a voulu se régler sur les limites de l'Europe vers l'occident, et que comme on regarde les isles Canaries, (situées dans la mer Atlantique

au-delà de l'Espagne vers l'Amérique,) comme faisant encore partie de l'Europe, on a jugé à propos de faire passer le premier méridien par la plus reculée des isles Canaries, afin qu'on puisse compter les autres méridiens sans interruption, non-seulement par toute l'Europe, mais par toute l'Asie : d'où, continuant de compter vers l'orient, on parvient en Amérique, et de-là on retourne enfin au premier méridien.

Mais à laquelle de ces isles Canaries donner la préférence? Quelques géographes Français ont choisi l'isle de Fer, et les Allemands celle de Ténériffe, parce qu'on n'était pas assez sûr alors de la véritable situation de ces isles, et qu'on ne savait peut-être pas laquelle était plus reculée ; d'ailleurs les Allemands ont crû que la montagne nommée Pic de Ténériffe, était pour ainsi dire, marquée par la nature pour y faire passer le premier méridien.

Quoiqu'il en soit, il est presque ridicule de faire passer le premier méridien par un endroit dont la situation n'est pas bien connue; car ce n'est que depuis peu de tems, qu'on a mieux déterminé la position des Canaries. En conséquence, les astronomes qui employent le plus d'exactitude dans leurs recherches, placent le premier méridien, de façon que celui de l'observa-

toire de Paris en soit précisément éloigné de 20 dégrés, sans se soucier par quel endroit passe alors le premier, c'est sans doute le plus sûr parti qu'on puisse prendre ; et pour bien déterminer tout autre méridien, le meilleur moyen est d'en chercher l'éloignement de celui de Paris ; alors si cet autre méridien est plus vers l'orient, on n'a qu'à y ajouter 20 dégrés pour avoir la longitude des lieux qui y sont situés ; mais si ce méridien est plus vers l'occident que celui de Paris, on soustrait leur distance de 20 dégrés ; enfin si cette distance vers l'occident est de plus de 20 dégrés, on la soustrait de 380 dégrés, ou de 20 dégrés au-delà de 360, pour avoir la longitude du méridien.

Ainsi le méridien de Berlin étant plus vers l'orient que celui de Paris de 11°. 7′, 15″, la longitude de Berlin sera 31°. 7′, 15″ ; et c'est aussi la longitude de tous les autres lieux qui sont situés sous le même méridien qne Berlin.

De même le méridien de Pétersbourg étant plus vers l'orient de 28 dégrés que celui de Paris ; la longitude de Pétersbourg sera 48°.

Le méridien de Londres à S. James est plus vers l'occident que celui de Paris de 2°. 25′. 15″ ; donc en ôtant cette quantité de 20°. le reste 17°. 34″. 45″ donne la longitude de Londres à S. James.

Considérons aussi la ville de Lima au Pérou, dont le méridien est éloigné de celui de Paris de 70°. 9'. 30" vers l'occident, qu'il faut par conséquent soustraire de 380 dégrés ; et l'on trouvera la longitude de Lima 309°. 50'. 30".

Or quand on connaît la latitude et la longitude d'un endroit, on est en état de marquer son vrai lieu sur le globe terrestre, ou sur une carte géographique ; car comme la latitude marque le parallele, sous lequel l'endroit est situé, et que la longitude donne le méridien du même lieu, l'endroit où le parallele coupe le méridien, sera exactement le lieu proposé.

V. A. n'a qu'à jetter les yeux sur une carte géographique ; par exemple, sur celle de l'Europe ; elle verra les dégrés des paralleles marqués des deux côtés, ou leurs distances de l'équateur : en haut et en bas, sont les dégrés de longitude ou les éloignemens des méridiens au premier.

On trace ordinairement sur les cartes les paralleles et les méridiens, de dégré en dégré, ou seulement de 5 en 5 dégrés. Dans la plupart des cartes, les méridiens ont tirés de haut en bas, et les paralleles e gauche à droite ; le haut est dirigé vers Nord ; le bas vers le Sud, ou midi : le ôté droit vers l'orient ou l'Est ; et le côté uche vers l'occident ou l'Ouest.

Il faut aussi remarquer que, puisque tous les méridiens concourent dans les deux poles, plus deux méridiens approchent d'un pole, plus leur distance sera petite; c'est toujours sous l'équateur, où la distance entre deux méridiens est plus grande. Aussi, sur toutes les bonnes cartes où les méridiens sont tracés, Votre Altesse verra qu'ils s'approchent toujours vers le haut ou le Nord, et que leurs distances deviennent plus grandes en allant vers l'équateur. Ceci est suffisant pour l'intelligence des cartes géographiques, par lesquelles on a tâché de nous représenter la surface ou une partie de la surface du globe.

Mais mon but principal était de démontrer comment la véritable position de chaque lieu de la terre est déterminée par sa latitude et sa longitude.

le 1 *Septembre* 1761.

LETTRE CLX.

PUISQU'IL est si important de connaître la latitude et la longitude de chaque lieu, pour savoir à quel point on se trouve sur la surface de la terre, V. A. jugera aisément qu'il l'est tout autant de découvrir les moyens propres à nous y conduire.

Il n'y a rien de plus intéressant pour un homme qui arrive après un long voyage dans un endroit, sur terre ou sur mer, que d'apprendre en quel lieu il se trouve alors ; s'il est proche de quelque pays connu ou non, et quel chemin il faut prendre pour y arriver. Le seul moyen de tirer cet homme d'embarras, sera sans doute de lui apprendre la latitude et la longitude du lieu où il est : mais que fera-t-il pour parvenir à cette découverte ? Supposons-le sur mer, ou dans quelque vaste désert, où il ne peut consulter aucun habitant. Après s'être assuré au moyen d'un globe terrestre ou des cartes géographiques de la latitude et de la longitude du lieu où il est, il y remarquera aisément le point de sa demeure, et sera en état de tirer les éclaircissemens dont il a besoin.

Je ferai voir à V. A. que c'est l'astronomie qui nous fournit principalement les moyens de connaître la latitude et la longitude du lieu où nous nous trouvons ; et afin de ne pas ennuyer V. A par le long détail de toutes les méthodes que les astronomes ont découvertes pour cet objet important, je me contenterai de lui en présenter une idée générale, et j'ose me flatter qu'elle sera suffisante pour faire comprendre à V. A. les principes sur lesquels toutes les méthodes sont fondées.

Je prends d'abord la recherche de la

latitude, qui n'est presque assujettie à aucune difficulté, tandis que celle de la longitude semble surpasser encore la portée de l'esprit humain, sur-tout lorsqu'on se trouve en mer et qu'on exige la dernière précision : c'est pourquoi l'on a proposé pour cette dernière des prix très-considérables, afin d'encourager les savans à tourner leur capacité et leurs travaux vers une découverte aussi intéressante, tant par son importance, que par l'honneur et le gain qu'elle peut procurer à l'inventeur.

Je reviens à la latitude et aux moyens de la découvrir, renvoyant à un autre tems de parler plus amplement de la longitude et des différentes méthodes de la trouver, sur-tout en mer.

Que les points B et A (*planche I, fig.* 5) soient les poles de la terre ; B A son axe et C son centre ; que le demi-cercle B D A représente un méridien coupé par l'équateur au point D, et B D, A D seront des quarts de cercle ou des arcs de 90 dégrés : la ligne droite C D sera donc un rayon de l'équateur et D E son diamêtre.

Soit maintenant dans ce méridien BDA, le point L, le lieu proposé dont il faut chercher la latitude, ou bien le nombre de dégrés que contient l'arc L D, qui mesure la distance du point L à l'équateur ; ou encore, tirant le rayon C L, puisque l'arc C D est la mesure de l'angle D C L

que je nommerai y, cet angle y exprimera la latitude du lieu L qu'il s'agit de trouver.

Or comme nous ne saurions nous placer au centre de la terre pour y mesurer cet angle, il faut recourir au ciel. C'est là où la prolongation de l'axe de la terre AB mène au pole boréal du ciel P, qu'on doit regarder comme infiniment éloigné de la terre. Qu'on prolonge aussi le rayon LC, qui aboutira dans le ciel au point Z qu'on nomme le zénith du lieu; ensuite tirant par le point L la ligne droite ST perpendiculaire au rayon CL, V. A. se souviendra que cette ligne ST est une tangente du cercle et qu'elle sera par conséquent horizontale au lieu E : notre horison touchant toujours la surface de la terre au lieu où nous nous trouvons.

Qu'on regarde maintenant en L. Vers le pole du ciel P, lequel étant infiniment éloigné, la droite LQ qui y est dirigée, sera parallele à la ligne ABP, ou à l'axe de la terre; ce pole du ciel paraîtra donc entre le zénith et l'horizon LT, et l'angle TLQ, indiqué par la lettre m, montrera combien la droite LQ, dirigée au pole, est élevée au-dessus de l'horizon; d'où cet angle m est nommé l'*élévation du pole*.

V. A. a déja sans doute assez souvent entendu du parler de l'élévation du pole, qu'on nomme aussi la *hauteur du pole*, et qui n'est autre chose que l'angle que la

ligne droite L Q, dirigée vers le pole du ciel, fait avec l'horizon du lieu où nous sommes. V. A. comprend aisément la possibilité d'observer cet angle *m* par le moyen d'un instrument astronomique, sans que j'aie besoin d'entrer dans un plus grand détail là-dessus.

Quand on aura mesuré cet angle *m*, ou la hauteur du pole, il nous donnera précisément la latitude du lieu L, ou bien l'angle *y*. Pour cet effet, il ne faut que faire voir que ces deux angles *m* et *y* sont égaux.

Or la ligne L Q étant parallele à CP, les angles *m* et *n* sont alternes, et conséquemment égaux. Et la ligne L T étant perpendiculaire au rayon CL, l'angle du triangle C L T sera droit, et les deux autres angles *n* et *x* du même triangle feront aussi un angle droit. Mais puisque l'arc B D est un quart de cercle, l'angle BCD sera aussi droit, les deux angles *x* et *y* font donc autant, étant ajoutés ensemble, que les deux angles *n* et *x*. Otons de part et d'autre l'angle *x*, alors l'angle *y* sera égal à l'angle *n*, et par conséquent aussi à l'angle *m*.

J'ai déja fait remarquer, que l'angle *y* exprime la latitude du lieu L, et l'angle *m*, l'élévation ou la hauteur du pole au même endroit L; donc la latitude d'un endroit est toujours égale à la hauteur du

pole à ce même endroit. Les moyens que l'astronomie nous fournit, pour observer la hauteur du pole, nous donnent donc la latitude que nous cherchons.

C'est ainsi que les observations astronomiques faites à Berlin, nous ont appris que la hauteur du pole y est 52° 31′, et nous en avons conclu que la latitude y est aussi 52° 31′.

C'est un exemple bien remarquable, comment le ciel peut nous faire connaître des choses qui ne sont relatives qu'à la terre.

le 5 Septembre 1761.

LETTRE CLXI.

Je passe maintenant à la longitude, et je remarque, qu'en partant par mer ou par terre d'un lieu connu, on pourra trouver aisément la longitude du lieu où l'on sera parvenu, si l'on connaît exactement la longueur du chemin et la route qu'on a tenue; elle peut même se trouver alors sans le secours de l'astronomie, et cela mérite bien que j'entre dans quelque détail avec V. A.

On mesure la longueur du chemin par pieds, on sait combien de pieds il faut pour un mille, et combien de milles pour

un arc d'un dégré de la terre : c'est ainsi qu'on pourra exprimer par dégrés le chemin qu'on aura fait.

Pour la route ou la direction du chemin, il faut bien connaître la position du méridien à chaque lieu où l'on se trouve. Comme le méridien va d'un côté au pole boréal, ou vers le nord, et de l'autre au pole méridional, ou vers le sud ; on n'a qu'à tirer sur l'horizon où l'on se trouve, une ligne droite du nord vers le sud, qu'on nomme la *ligne méridienne* de ce lieu. Il faut se donner toutes les peines possibles pour tracer bien exactement cette ligne méridienne, et c'est où le ciel doit encore nous servir de guide.

V. A. sait qu'il est midi, quand le soleil se trouve le plus élevé au-dessus de l'horizon ; or c'est alors que le soleil se trouve précisément vers le sud, et l'ombre d'un bâton fixé perpendiculairement sur un plan horizontal, tombera à l'instant précisément vers le nord ; d'où il est aisé de comprendre, comment les observations du soleil nous fournissent les moyens de bien tracer la ligne méridienne, en quelque lieu que nous nous trouvions.

Ayant tracé la ligne méridienne, toutes les autres directions ou routes sont aisément déterminées.

Soit la ligne droite NS (*Pl. I. fig. 6.*), la méridienne, l'une des extrêmités N étant

étant dirigée vers le nord et l'autre S vers le sud. A cette méridienne NS, qu'on tire perpendiculairement la droite OW, dont l'extrémité O sera dirigée vers l'orient, qu'on nomme *ost* en allemand, et l'autre extrémité W vers l'occident, qu'on nomme *west*. Après avoir divisé le cercle en seize parties égales, on aura autant de directions nommées par les lettres y jointes, et en cas qu'on suive une route qui ne convienne pas exactement avec une de ces seize, on marque l'angle qu'elle fait avec la méridienne NS, ou avec la ligne OW qui lui est perpendiculaire.

C'est par ce moyen qu'on pourra connaître exactement la route qu'on tient en voyageant; et toutes les fois qu'on sera bien assuré de la longueur du chemin, et de la route qu'on aura suivie, il sera fort aisé de déterminer le vrai lieu où l'on est parvenu, et d'en assigner tant la latitude que la longitude. On se sert pour cela d'une bonne carte géographique qui contienne le lieu d'où l'on est parti, et celui où l'on est arrivé; et moyennant l'échelle qui marque la grandeur d'un mille, on pourra tirer sur cette carte le chemin qu'on aura parcouru.

La figure 7, planche I, représente une carte où sont marqués de gauche à droite les degrés de latitude, et ceux de longitude de haut en bas; l'on y voit aussi que les

méridiens sont plus proches les uns des autres en haut vers le nord, qu'en bas vers le sud ; comment cela est sur la terre (*a*).

Cette carte renferme une partie de la surface de la terre depuis 53 degrés de latitude boréale, jusqu'au 59e. degré ; et depuis 13 degrés de longitude jusqu'au 26e. degré.

Supposons donc qu'on soit parti du lieu L, dont la longitude est 16° et la latitude 57° 20′ et qu'on ait tenu la route O S O sur laquelle on ait parcouru un chemin de 75 milles d'Allemagne. Pour trouver la longitude et la latitude du lieu où l'on sera parvenu, on tire du lieu L la ligne droite L M, qui fasse avec le méridien 16, 16, le même angle que fait dans la figure précédente la direction O S O avec N. Ensuite, sur cette ligne, qu'on prenne selon l'échelle marquée dans la carte LM de 75 milles d'Allemagne, et le point M sera le lieu où l'on sera parvenu.

On n'a ensuite qu'à comparer ce lieu avec les méridiens et les parallèles tracés sur la carte, et l'on verra que sa longitude tombe très-près du 24e degré, et en mesurant plus exactement la partie du degré à ajouter au 24e degré, on trouvera la lon-

(*a*) Tout ce que l'Auteur va dire ci-après, ne peut s'appliquer en rigueur qu'aux cartes marines ; mais apparemment il n'a pas cru devoir entrer dans aucun détail sur leur construction particulière.

gitude du point M du 24° 4′. Pour la latitude, on voit qu'elle se trouve entre le 55ᵉ et 56ᵉ degré, et on l'estimera aisément de 55° 25′ ; desorte que la latitude du lieu M, où l'on est arrivé, est de 55° 25′, et sa longitude 24° 4′.

J'ai supposé ici qu'on a suivi pendant tout le voyage la même route, marquée OSO ; mais si l'on changeait de route de tems en tems ; on n'aurait qu'à faire à chaque changement la même opération, pour trouver le lieu où l'on a été alors, et ensuite, de ce lieu, on tracera la route suivante, jusqu'à ce qu'on l'ait changée de nouveau, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on arrive au dernier endroit. Par ce moyen on sera toujours en état, dans les voyages, de connaître les lieux où l'on arrive, pourvu qu'on sache toujours exactement la route qu'on tient, et qu'on mesure aussi exactement le chemin qu'on parcourt.

On pourrait même se passer alors des secours de l'astronomie, à moins qu'on n'en eut besoin pour connaître au juste la route, ou l'angle qu'elle fait avec la méridienne; mais l'aiguille aimantée ou la boussoule peut souvent suppléer à ce besoin.

V. A. sent cependant bien, qu'on peut se tromper considérablement dans l'estime de la route et de la longueur du chemin, sur-tout dans de fort longs voyages. Cor-

bien de fois ne faut-il pas changer de route d'ici à Magdebourg seulement ? et comment mesurer exactement la longueur du chemin ? Mais quand le voyage se fait par terre, on n'est pas réduit à cet expédient ; on est en état de mesurer par des opérations géométriques les distances des lieux, et les angles que les distances font avec la méridienne de chaque endroit ; et c'est par ce moyen qu'on détermine assez exactement la véritable situation de tous les lieux.

le 8 *Septembre* 1761.

LETTRE CLXII.

LA méthode d'observer la route qu'on tient, et la longueur du chemin parcouru, semble être d'un très-grand secours dans les voyages par mer, parce qu'on n'y est pas obligé de changer de route à tout moment, comme quand on voyage par terre ; car tant qu'on a le même vent, on peut suivre la même route.

Aussi les pilotes sont-ils très-attentifs à observer exactement la route que tient le vaisseau, et à mesurer le chemin qu'il parcourt ; ils tiennent un journal exact de toutes ces observations, à la la fin de chaque jour, et plus sou-

vent encore, ils tracent sur leurs cartes marines le chemin qu'ils ont parcouru, et sont en état par ce moyen de marquer sur les cartes pour chaque tems, le point où ils se trouvent, et dont ils connaissent par conséquent la latitude et la longitude. Aussi tant que le cours se fait régulièrement, et que le vaisseau n'est pas agité par quelque tempête, les pilotes ne s'y trompent guères : mais quand ils sont en doute, ils ont recours aux observations astronomiques, d'où ils tirent la hauteur du pole, qui étant toujours égale à la latitude du lieu où ils se trouvent, ils la comparent avec celle qu'ils ont marquée sur la carte, conformément à l'estime du chemin. S'ils la trouvent d'accord, leur estime est juste; s'ils découvrent quelque différence, ils en concluent avec certitude qu'ils se sont trompés dans l'estime du chemin et de la route; ils examinent alors l'un et l'autre plus soigneusement, et tâchent d'y apporter les corrections nécessaires, pour accorder l'estime avec l'observation de la hauteur du pole, ou de la latitude qui lui est égale.

Cette précaution peut être suffisante dans des petits voyages, parce que les erreurs qu'on y commet n'y sont presque d'aucune conséquence, mais dans des voyages de long cours, ces petites

erreurs peuvent s'accumuler au point, qu'à la fin, on se trompe très-grossièrement, et que le lieu où l'on est effectivement diffère considérablement de celui où l'on s'imagine se trouver sur la carte.

J'ai supposé jusqu'ici que le voyage se fait assez paisiblement : mais s'il survient une tempête, pendant laquelle le vaisseau est assujetti aux plus fortes secousses du vent et des flots ; il est bien clair que l'estime de la longueur du chemin et de la route est entièrement dérangée, et qu'il n'est pas possible de tracer sur la carte le chemin qu'on aura parcouru.

On pourrait bien déterminer par des observations astronomiques, après ce dérangement, la latitude du lieu où l'on se trouve, mais cela ne découvrirait que le parallele de ce lieu, et on resterait toujours très-incertain sur le point de ce parallele qui répond au lieu du vaisseau.

Il faut donc reconnaître aussi la longitude du lieu, qui nous montre le méridien sous lequel il est situé ; et alors l'intersection de ce méridien avec le parallele trouvé, donnera le véritable endroit du vaisseau. V. A. comprend par-là, combien il est important de mettre les pilotes en état de trouver aussi la longitude du lieu où ils se trouvent.

Ce ne sont pas seulement les tempê-

tes qui mettent dans cette nécessité ; car on peut, le voyage se faisant paisiblement, se tromper très-grossièrement dans l'estime, tant de la route que de la longueur du chemin. Si l'on pouvait supposer que la mer fut en repos, on aurait bien des moyens de connaître assez exactement ce chemin ; mais la mer a en plusieurs endroits des courans rapides, de sorte qu'elle ressemble à une rivière qui court suivant une certaine direction. C'est ainsi qu'on a observé que la mer Atlantique coule continuellement par le détroit de Gibraltar dans la Méditerranée ; et que l'Océan, entre l'Afrique et l'Amérique, a un courant très-considérable de l'orient vers l'occident, tellement qu'on va beaucoup plus vîte de l'Europe en Amérique qu'on n'en revient.

Si ces courans étaient constans et connus, ce serait un grand secours pour regler notre estime ; mais on a observé qu'ils sont tantôt plus, tantôt moins rapides, & qu'ils changent souvent de direction ; ce qui dérange tellement l'estime des pilotes les plus habiles, qu'on ne saurait plus s'y fier sans s'exposer au plus grand danger. Onn'a que trop d'exemples, que des vaisseaux croyaient être encore fort éloignés des endroits remplis d'écueils cachés sous la mer, lorsqu'ils y sont échoués et péris. On s'est

apperçu après, que les courans de la mer avaient causé ces malheurs, parce que l'estime des pilotes avait été dérangée.

En effet, lorsque la mer a un mouvement qui la fait couler comme une riviere, suivant une certaine direction, les vaisseaux qui s'y trouvent, sont emportés sans s'en appercevoir. On connaît bien à la vérité qu'on est emporté par une riviere en regardant le rivage, ou le fonds : mais en mer on ne voit aucune terre, et la profondeur est trop grande pour avoir connaissance du fonds. On ne peut donc pas s'appercevoir sur mer si l'on est emporté, et c'est pourquoi l'on se trompe très-grossièrement, tant pour la route que pour la longueur du chemin. Qu'on ait donc égard ou non aux tempêtes, on est toujours obligé de chercher d'autres moyens, pour déterminer la longitude des lieux où l'on arrive; et c'est des divers moyens proposés jusqu'ici pour parvenir à cette connaissance de la longitude, que j'aurai l'honneur d'entretenir V. A.

le 12 Septembre 1761.



LETTRE CLXIII.

Un moyen très-sûr de trouver la longitude, serait une horloge, une montre, ou une pendule si parfaite, c'est-à-dire, qui marchât toujours si également et si exactement, qu'aucune secousse ne fut capable d'en altérer le mouvement.

Supposé qu'on fut parvenu à exécuter une telle horloge, voyons comment, par son moyen, on serait en état de résoudre le problême des longitudes. Il faut pour cela retourner à la considération des méridiens, qu'on conçoit être tirés par tous les lieux de la terre.

V. A. sait, que le soleil paraît décrire tous les jours un cercle autour de la terre, et qu'il passe par conséquent successivement au-dessus de tous les méridiens, dans le tems de vingt-quatre heures.

Or, on dit que le soleil passe *au-dessus* ou *par* un certain méridien, si la ligne droite tirée du soleil au centre de la terre C (*fig.* 8, *Planche* 1), passe précisément par ce méridien. Si donc à présent, la ligne tirée du soleil au centre de la terre passait par le méridien BLMA, on dirait que le soleil est dans ce méridien, et alors il serait midi à tous les lieux situés sous ce méridien, mais sous

tout autre, il ne serait pas midi dans ce même moment; ce serait donc avant ou après.

Si le méridien BNA est situé plus vers l'orient que le méridien BMA : le soleil en faisant son tour de l'orient à l'occident, passera par le méridien BNA avant que de parvenir au méridien BMA, il sera donc plutôt midi sous le méridien, BNA que sous celui BMA; par conséquent lorsqu'il sera midi sous ce dernier méridien, le midi sera déja passé sous tout autre situé vers l'orient, où il sera déja après midi. Au contraire, il sera encore avant midi sous tout méridien BDA situé plus vers l'occident, parce que le soleil n'y parvient qu'après avoir déja passé par le méridien BMA.

Et comme le mouvement du soleil se fait uniformément, et qu'il acheve le tour entier de la terre, c'est-à-dire 360 degrés, en vingt-quatre heures, il parcourra chaque heure un arc de 15 degrés. Donc lorsqu'il est midi à Berlin, et à tout autre lieu situé sous ce même méridien, le midi sera déja passé sous les méridiens situés plus vers l'orient; et en particulier, sous le méridien éloigné vers l'orient de 15 degrés de celui de Berlin, il sera déja une heure; sous le méridien éloigné de 30 degrés, deux heures; sous celui éloigné de 45 dégrés, trois heures après midi, et ainsi de suite. Le contraire

arrivera aux lieux situés sous des méridiens plus occidentaux que celui de Berlin ; et s'il est midi ici, il ne sera que 11 heures avant midi sous le méridien éloigné de 15 degrés ; 10 heures avant midi sous le méridien éloigné de 30 degrés ; 9 heures avant midi sous le méridien éloigné de 45 degrés vers l'occident, et ainsi de suite ; une différence de 15 degrés entre les méridiens, produisant toujours une heure entre les tems.

Pour éclaircir mieux encore ce que nous venons de dire, considérons les villes de Berlin et de Paris : et puisque le méridien de Berlin est de 11 degrés 7 minutes 15 secondes plus vers l'orient que celui de Paris, en comptant une heure pour 15 degrés, cette différence de 11 degrés 7 min. 15 sec. donnera 44 minutes et 29 secondes, ou à-peu-près trois quarts d'heures. Donc lorsqu'il est midi à Paris, il sera déja à Berlin 44 min. 29 sec. après midi, et réciproquement, lorsqu'il est midi à Berlin, il sera 11 heures 15 min. 31 sec. à Paris ; de sorte que le midi n'y arrivera que 44 min. 29 seconde après. D'où l'on voit qu'à chaque moment les horloges à Berlin doivent être plus avancées qu'à Paris, et que cette différence doit être de 44' 29''.

La différence entre les méridiens de Berlin et de Magdebourg, est d'un degré 14 min. donc Berlin est plus à l'orient

que Magdebourg : cette différence réduite en tems, donne 6 minutes 40 secondes, que les horloges de Berlin doivent marquer de plus que celle de Magdebourg. Par conséquent s'il est midi à Magdebourg, et que les horloges, que je suppose bien reglées, y marquent XII heures, les horloges de Berlin doivent marquer au même instant 12 heures 6 min. 40 sec., c'est-à-dire, qu'il y est déja après midi.

V. A. voit par-là qu'à mesure que les lieux différent en longitude, ou qu'ils sont situés sous des méridiens différens, les horloges bien reglées n'y doivent point marquer les mêmes heures au même instant, mais la différence doit être d'une heure entiere, lorsque celle en longitude est de 15 degrés.

Si l'on voulait donc se servir d'une horloge pour trouver la longitude des endroits par lesquels on passe, il faudrait d'abord la bien regler en quelqu'endroit qu'on se trouve : cela se fait sur l'observation de midi, qui est le moment où le soleil passe par le méridien de ce lieu, et l'horloge doit montrer précisément alors XII heures. Elle doit être ensuite tellement ajustée que, toujours après vingt-quatre heures lorsque le soleil retourne au méridien, l'aiguille, après avoir fait deux tours entiers, revienne exactement sur XII heures : si cela est bien observé, de telles horloges bien reglées ne seront d'accord

en différens endroits, que lorsqu'ils sont situés sous un même méridien ; mais s'ils sont situés sous des méridiens divers, ou qu'il y ait une différence entre leurs longitudes, les tems que les horloges marqueront au même moment seront aussi différens ; ensorte qu'à chaque différence de 15 degrés en longitude, réponde une heure entiere entre le tems marqués par les horloges.

Connaissant donc la différence entre les tems que les horloges bien reglées marquent en divers endroits, au même instant, on en conclura aisément celle qui se trouve entre leurs longitudes, en comptant toujours 15 degrés pour une heure, et un quart de degré pour une minute.

le 15 *Septembre* 1761.

LETTRE CLXIV.

V. A. sera moins surprise de la différence du tems que les horloges bien reglées doivent indiquer sous différens méridiens, quand elle réfléchira que lorsqu'il est midi, chez nous, il y a des pays vers l'orient, où le soleil se couche déja, et que vers l'occident il y en a où le soleil ne fait que se lever : il faut donc bien qu'il soit déja le soir chez ceux-là et encore le matin chez ceux-ci au même instant qu'il

est midi chez nous. V. A. sait d'ailleurs que chez nos antipodes, qui se trouvent sous le méridien opposé au nôtre, il fait nuit pendant qu'il fait jour chez nous ; de sorte que lorsqu'il est midi chez nous, il sera minuit chez eux.

Il me sera aisé, après ces éclaircissemens, de faire voir comment une bonne horloge peut servir à nous faire connaître la différence des méridiens, ou celle en longitude de divers endroits.

Supposons que j'aie cette excellente horloge qui, une fois bien reglée, montre tous les jours exactement le tems (*a*) juste qu'il est à Berlin, de sorte que toutes les fois qu'il est midi à Berlin, elle indique précisément XII heures: supposons encore qu'elle marche si régulièrement, que je n'aie plus besoin d'y toucher après l'avoir reglée une fois, et que sa marche ne soit point dérangée, soit que je la mette dans une voiture, ou qu'elle soit à bord d'un vaisseau en pleine mer, exposée à des secousses et à toutes sortes d'agitations.

Que je fasse maintenant avec cette horloge un voyage par terre ou par mer ; parfaitement assuré qu'elle conserve toujours le même mouvement comme si

(*a*) Il faut entendre le tems moyen, dont le rapport au tems vrai est connu par des tables astronomiques. L'auteur a crû devoir se dispenser de faire ici cette distinction, qui l'aurait mené dans des détails trop longs.

j'étais resté à Berlin; elle me marquera chaque jour XII heures au même moment qu'il est midi à Berlin, et cela, quelque soit l'endroit où je me trouve. Dans ce voyage, j'arrive d'abord à Magdebourd: j'y observe le soleil lorsqu'il passe par le méridien, ce qui arrive lorsqu'il se trouve exactement vers le Sud; et puisqu'alors il est midi à Magdebourg, je regarde mon horloge & je m'apperçois qu'elle montre 12 heures 6 minutes 40 secondes, d'où je conclus que quand il est midi à Magdebourg, il est déja après midi à Berlin, et que la différence est 6'. 40'' de tems, qui répondent à 1°. 40'; donc le méridien de Magdebourg est plus vers l'occident que celui de Berlin. Puis donc que la longitude de Berlin est 31°. 7'. 15'', la longitude de Magdebourg sera de 1°. 40' plus petite, ou bien elle sera 29°. 27'. 15''.

Je vais de-là à Hambourg avec mon horloge, à laquelle je ne touche point, et y observant le midi (car je ne me fierais pas aux horloges publiques, qui y marquent les heures), je vois que mon horloge marque déja 12 heures 13'. 33'', de sorte qu'à Berlin il est déja 13', 33''. après midi, lorsqu'il est midi à Hambourg; j'en conclus que le méridien de Hambourg est de 3°. 23'. 5'', plus vers l'occident que celui de Berlin: en comp-

tant 15° pour une heure, et par conséquent un dégré pour 4 minutes de tems, d'où l'on trouve que 13′ 33″ de tems donnent 3°. 23′. 15″, pour la différence des méridiens. La longitude de Hambourg sera donc 27°. 44′.

A Hambourg, je m'embarque sur un vaisseau avec mon horloge, et ayant fait un long voyage, j'arrive à un lieu où, attendant le midi (dont je détermine le moment par mes observations du soleil), je vois que mon horloge ne montre que 10 h. 58′. 15″; de sorte qu'à Berlin il est encore avant midi dans ce moment, la différence étant 1 heure 1′, 45″ d'où je conclus, que le lieu où je suis arrivé, est plus vers l'orient que Berlin, et puisque 1 heure donne 15 degrés, une minute de tems 15′, et 45″ de tems 11′. 15″, la différence des méridiens sera donc de 15°. 26′. 15″. Je me trouve donc dans un lieu situé plus vers l'orient que Berlin, dont la longitude est de 15°. 26′. 15″, plus grande que celle de Berlin; laquelle étant 31°. 7′. 15″, la longitude au lieu où je me trouve sera 46°. 33′. 30″. Ainsi je sais sous quel méridien je me trouve, mais je suis encore incertain du point de ce méridien. Pour cet effet, j'ai recours aux observations astronomiques, et je cherche la hauteur du pole que je trouve précisément de 41°. Sachant de plus que je suis

encore

encore dans l'hémisphere boréale de la terre, n'ayant point passé l'équateur, j'apprens que je me trouve actuellement dans un lieu dont la latitude est de 41° boréal, et la longitude 46°. 33′. 30″; je prends donc des cartes géographiques, j'y trace le méridien dont la longitude est 46°. 33′. 30″; je cherche le lieu dont la latitude est 41°. 8′, et je trouve que ce lieu est la ville de Constantinople, sans que j'aie eu besoin de m'informer du nom de la ville à qui que ce soit.

Ainsi, en quelqu'endroit de la terre que je parvienne avec mon excellente horloge, j'en déterminerai la longitude, et ensuite l'observation de la hauteur du pole m'en montrera la latitude. Je n'ai alors qu'à prendre un globle terrestre, ou de bonnes cartes géographiques, et il me sera aisé de remarquer le point qui répond au lieu où je me trouve, quelqu'inconnu que me soit d'ailleurs le pays.

Il est bien malheureux que les plus habiles artistes n'ayent pas encore pu réussir à faire des horloges aussi excellentes que cette méthode l'exige. On trouve bien de très-bonnes pendules, mais elles ne marchent régulièrement, qu'autant qu'elles sont fixées dans un appartement tout-à-fait tranquille; les moindres secousses et les plus légers

ébranlemens sont capables de les déranger : ces pendules sont donc absolument inutiles pour les voyages. Aussi comprend-on aisément que le mouvement du pendule qui en regle la marche, ne saurait souffrir les agitations auxquelles il serait exposé dans le voyage. Il y a cependant environ dix ans qu'un ouvrier Anglais s'est vanté d'avoir construit une horloge insensible aux secousses du voyage, et même on a prétendu, qu'après l'avoir fait courir long-tems dans un carosse, on n'y avait pas remarqué le moindre dérangement, sur quoi l'inventeur reçut une partie du prix destiné à la découverte de la longitude, et le reste devait lui être payé après l'épreuve d'un long voyage par mer ; mais depuis ce tems les gazettes n'en ont plus parlé ; d'où il est à présumer, que cette entreprise a échoué comme quantité d'autres faites pour ce dessein (*a*).

le 19 *Septembre* 1761.

(*a*) L'Auteur veut parler sans doute ici de M. Harrison, dont la montre marine a été éprouvée avec succès en Angleterre : MM. le Roy & Berthout ont prouvé en France leurs talens en ce genre.



LETTRE CLXV.

A défaut de l'excellente horloge, dont j'ai eu l'honneur de présenter une idée à V. A., on a regardé jusqu'ici les éclipses de lune comme le moyen le plus sûr pour découvrir les longitudes ; mais ces phénomènes arrivent si rarement, qu'on ne peut pas s'en servir toutes les fois qu'on en a besoin.

V. A. sait, que la lune s'éclipse lorsqu'elle passe dans l'ombre de la terre : on peut remarquer alors le moment où la lune commence à s'y enfoncer et celui où elle en sort ; le premier est nommé le commencement de l'éclipse, et l'autre la fin ; et quand on les observe tous deux, le tems moyen entr'eux est nommé le milieu de l'éclipse. La lune s'enfonce quelquefois toute entière dans l'ombre de la terre, et reste pendant quelque tems tout-à-fait invisible; c'est alors une éclipse totale, pendant laquelle on peut remarquer le moment où la lune disparaît entièrement, et celui où elle recommence à sortir de l'ombre ; celui-là est nommé commencement de l'obscurcissement total, et celui-ci la fin. Mais quand il n'y a qu'une partie de la lune qui s'obscurcie, cette éclipse s'appelle par-

tiale, et on ne peut y remarquer que les momens du commencement et de la fin. V. A. sait d'ailleurs que les éclipses de lune n'arrivent qu'au tems des pleines lunes et assez rarement.

Quand donc on observe une éclipse de lune en deux lieux différens situés sous différens méridiens, on y verra bien le commencement de l'éclipse au même moment, mais les horloges ne manqueront pas la même heure ni le même tems : je parle des horloges bien réglées, dont chacune montre précisément XII heures, lorsqu'il est midi au lieu où elle se trouve. Si ces lieux sont situés sous le même méridien, ces horloges indiqueront bien le même tems, au commencement et à la fin de l'éclipse : mais si ces deux méridiens sont éloignés l'un de l'autre de 15 degrés, ou que la différence de leurs longitudes soit de 15°, les horloges doivent différer d'une heure entière, du commencement de l'éclipse jusqu'à la fin, l'horloge du lieu situé plus près de l'orient montrera une heure de plus que l'autre ; la différence de 30° en longitude, causera celle de deux heures dans le tems marqué par les horloges ; et ainsi de suite selon la table ci-jointe.

Différence en Longitude.

15	dégrés	font	1	heure.
30	dits	. . .	2.	
45	dits	. . .	3.	
60	dits	. . .	4.	
75	dits	. . .	5.	
90	dits	. . .	6.	
105	dits	. . .	7.	
120	dits	. . .	8.	
135	dits	. . .	9.	
150	dits	. . .	10.	
165	dits	. . .	11.	
180	dits	. . .	12.	

Si donc la différence en longitude était de 150°, les horloges différeraient de 10 heures du commencement à la fin de l'éclipse.

Ainsi quand on observe la même éclipse en deux endroits différens, et qu'on marque exactement le tems de l'horloge au moment du commencement de l'éclipse, on pourra conclure de la différence entre les tems marqués, celle des lieux en longitudes. Or, celui où le tems est le plus avancé, sera situé plus vers l'orient, et par conséquent sa longitude plus grande, puisqu'on compte les

longitudes de l'occident à l'orient.

C'est aussi par ce moyen qu'on a déterminé la longitude des principaux lieux de la terre, et qu'on a dressé les cartes géographiques conformément à ces déterminations. Mais il fallait toujours comparer les observations faites dans un lieu dont la longitude n'était pas encore connue, avec celle qui avait été faite dans un lieu connu, et attendre jusqu'à ce qu'on put faire cette comparaison. Si j'étais donc parvenu, après un long voyage, à un lieu inconnu, & que l'occasion se présentât d'y observer une éclipse de lune, cela ne me servirait de rien pour connaître d'abord ma longitude ; ce n'est qu'à mon retour que je pourrais comparer mon observation avec une autre faite dans un lieu connu, et j'apprendrais ainsi trop tard où j'étais alors. L'essentiel est de pouvoir m'éclaircir sur le champ là-dessus, pour prendre mes mesures.

Aussi peut-on se satisfaire depuis qu'on connaît si exactement le mouvement de la lune, qu'on est en état, non-seulement de prédire toutes les éclipses, mais de marquer le moment du commencement et de la fin, suivant l'horloge d'un lieu connu. V. A. sait que nos almanachs de Berlin marquent toujours le commencement et la fin de chaque éclipse pour ce lieu. On peut donc, quand on veut faire un long

voyage, acheter un almanach de Berlin, et si l'occasion se présente d'observer une éclipse de lune dans un endroit inconnu, il faut en marquer exactement le tems suivant une montre bien réglée sur midi, et comparer les momens du commencement et de la fin de l'éclipse avec ceux de l'almanach, pour s'assurer de la différence entre le méridien de Berlin et celui qui passe par l'endroit où l'on se trouve.

Il se trouve cependant dans cette méthode, outre la rareté des éclipses de lune, l'inconvénient de ne pouvoir pas distinguer assez exactement le moment du commencement ou de la fin de l'éclipse, qui arrive presque insensiblement, et qu'on peut bien se tromper de plusieurs secondes. Mais comme l'erreur sera à-peu-près la même pour la fin et pour le commencement, on cherche le milieu entre les deux momens observés, qui sera celui de l'éclipse, et on le compare ensuite avec celui que l'almanach marque pour Berlin, ou pour un autre lieu connu.

Si les almanachs de l'année suivante ne sont pas encore imprimés, quand on veut voyager, ou que le voyage ait à durer quelques années, on trouve des livres où les éclipses sont déja calculées pour plusieurs années de suite.

Le 22 Septembre 1761.

LETTRE CLXVI.

Les éclipses de soleil peuvent encore servir à déterminer les longitudes, mais d'une manière qui demande des recherches plus profondes, parce que le soleil n'est pas obscurci immédiatement ; ce n'est que la lune qui se met devant lui, et qui empêche ses rayons de parvenir jusqu'à nous comme quand on porte un parasol pour s'en garantir, ce qui n'empêche pas que d'autres n'en voyent tout l'éclat. Aussi la lune ne couvre-t-elle le soleil qu'à une partie des habitans de la terre, et nous pouvons voir une éclipse de soleil à Berlin, pendant que sa lumiere n'éprouve aucune affoiblissement à Paris.

Mais la lune est réellement éclipsée par l'ombre de la terre ; sa propre lumière en est diminuée ou éteinte, d'où il résulte que les éclipses de lune sont vues de la même manière, par-tout où elle se trouve sur l'horizon au tems de l'éclipse.

Il n'échappe pas à la pénétration de V. A. que s'il y avait au ciel d'autres corps qui souffrissent de tems-en-tems quelqu'obscurcissement réel, ils pourraient être employés avec le même succès que les éclipses de lune, à déterminer les

longitudes. Les satellites de Jupiter qui passent si souvent dans l'ombre de leur planète, de sorte que presque toutes les nuits, il y en a quelqu'un d'éclipsé, peuvent être mis dans ce rang, et nous fournissent un moyen très-propre à déterminer les longitudes ; aussi les astronomes s'en servent-ils avec un grand succès.

V. A. sait que Jupiter a quatre satellites qui font leurs révolutions autour de lui, chacun dans son orbite, comme je le représente ici (*fig.* 1, *Planche* II) par les cercles décrits autour de Jupiter : j'y ai répresenté aussi le soleil, pour marquer l'ombre AOB derrière le corps de Jupiter. On voit dans cette figure le premier satellite marqué 1 prêt à entrer dans l'ombre, le second marqué 2 vient d'en sortir, le troisième 3 est encore fort éloigné d'y entrer, et le quatrième 4 en est sorti dès long-tems.

Sitôt qu'un des satellites entre dans l'ombre, il devient invisible & assez promptement ; de sorte qu'en quelqu'endroit de la terre qu'on se trouve, on voit éclipser subitement le satellite qui, jusques-là, avait paru assez distinctement. Cette entrée d'un satellite dans l'ombre de Jupiter est nommée *immersion*, et sa sortie de l'ombre *émersion* ; c'est alors qu'on voit reparaître subitement le satellite qui a été invisible pendant quelque tems.

Les immersions et les émersions sont également propres à déterminer les longitudes, puisqu'elles arrivent dans un moment marqué ; de sorte que quand on observe un tel phénomène en plusieurs lieux de la terre, on doit trouver dans les tems marqués par les horloges de chacun, autant de différence, que l'exige celle qu'il y a entre les méridiens. Il en est de même que si l'on observait le commencement ou la fin d'une éclipse de lune ; et la chose est alors sans aucune difficulté ; on est déja parvenu depuis quelque tems à prédire ces éclipses des satellites de Jupiter, c'est-à-dire, leurs immersions et leurs émersions, et on n'a qu'à comparer le tems observé avec le tems calculé pour un lieu connu, comme Berlin, pour conclure d'abord l'éloignement de son méridien avec celui de notre capitale.

Aussi se sert-on par-tout de cette méthode dans les voyages par terre ; mais on n'a pas encore trouvé moyen d'en profiter sur les vaisseaux, où le besoin en est cependant bien plus important pour être assuré du lieu où l'on est. Si l'on pouvait voir des yeux les satellites de Jupiter aussi bien que la lune, cette méthode n'aurait aucune difficulté sur mer ; mais on ne le peut faire qu'avec une lunette de quatre ou cinq pieds au moins,

circonstance qui cause un obstacle invincible.

V. A. sait combien il faut d'adresse quand on se sert sur terre d'une lunette un peu longue, pour la diriger vers l'objet qu'on veut contempler, et pour la tenir fixe sans perdre l'objet ; elle en conclura donc, qu'un vaisseau étant dans une agitation continuelle, il doit être presqu'impossible de découvrir seulement Jupiter ; et que quand on l'aurait trouvé, on le perdrait de vue au même instant. Or pour bien observer l'immersion ou l'émersion d'un satellite de Jupiter, il faut absolument qu'on puisse le regarder fixement pendant quelque tems; et cela n'étant pas possible en mer, il paraît qu'il faut renoncer à cette méthode de déterminer les longitudes.

Il y a cependant deux moyens de remédier à cet inconvénient ; l'un de trouver des lunettes de six pouces ou moins encore, qui découvriraient assez distinctement les satellites de Jupiter ; et il n'est pas douteux qu'il ne soit beaucoup plus aisé de les manier que celles de quatre à cinq pieds de long. On travaille actuellement avec un grand succès à la perfection de ces lunettes ; mais il reste à savoir si elles ne demanderont pas autant d'adresse pour les diriger que celles qui sont plus longues.

L'autre moyen serait de se ménager sur le vaisseau un siége fixe et immobile, qui n'en ressentît point les agitations; il semble qu'un balancement adroit pourrait conduire à ce but. En effet, il n'y a pas long-tems que nous avons lu dans les gazettes, qu'un Anglais disait avoir inventé un siége ou chaise, telle qu'il prétendait par-là au prix proposé pour la découverte des longitudes. Il avait raison, puisqu'on pourrait par ce moyen observer en mer les immersions et émersions des satellites de Jupiter, qui sont sans doute très-propres pour les déterminer : mais dès-lors on n'en a plus entendu parler. V. A. jugera aisément d'après cela à combien de difficultés la découverte des longitudes est assujettie.

le 26 Septembre 1761.

LETTRE CLXVII.

LE ciel nous fournit encore une ressource pour parvenir sans lunettes à la découverte des longitudes, à laquelle les astronomes paraissent donner la plus grande confiance. C'est la lune, non-seulement quand elle est éclipsée, mais toujours, pourvu qu'elle soit visible ; avantage immense, puisque les éclipses sont si ra-

res, et que les immersions et les émersions des satellites de Jupiter n'arrivent pas à notre gré ; parce qu'il s'écoule tous les ans un tems considérable, pendant lequel la planete de Jupiter n'est pas visible, au lieu que la lune s'offre presque toujours à notre vue.

V. A. aura sans doute déja remarqué que la lune se leve tous les jours presque trois quarts d'heure plus tard, parce qu'elle n'est pas attachée à un lieu fixe relativement aux étoiles qui conservent toujours la même situation entr'elles, quoiqu'elles paraissent emportées par le ciel, pour achever chaque jour leur révolution autour de la terre. Je parle ici selon les apparences ; car c'est la terre qui tourne tous les jours autour de son axe, tandis que le ciel et les étoiles fixes demeurent en repos ; et que le soleil et les planetes changent continuellement de place à l'égard des premieres. La lune a aussi un mouvement assez rapide d'un jour à l'autre, par rapport aux étoiles fixes.

Si l'on voit aujourd'hui la lune près d'une certaine étoile fixe, elle en paraîtra demain, à la même heure, très-éloignée vers l'orient, & la distance surpasse même quelquefois 15 degrés. La vîtesse de son mouvement n'est pas toujours le même, cependant on est parvenu à la déterminer très-exactement pour tous les

jours ; ce qui nous met en état de connaître d'avance sa vraie place dans le ciel, pour toutes les heures du jour, et un méridien connu, tel, par exemple, que celui de Berlin ou de Paris.

Supposons donc, qu'après un long voyage je me trouve en mer dans un lieu tout-à-fait inconnu, et voyons comment je pourrai me servir de la lune pour connaître la longitude du lieu où je suis ; car il n'y a aucune difficulté pour la latitude, pas même sur mer, où l'on a des moyens assez sûrs pour observer la hauteur du pole, à laquelle la latitude est toujours égale. Toute mon attention se dirigera donc sur la lune, je la comparerai avec les étoiles fixes qui en sont plus près, et j'en conclurai sa véritable place relativement à elles. V. A. sait qu'on a des globes célestes, sur lesquels toutes les étoiles fixes sont marquées, et qu'on fait aussi des cartes célestes semblables aux cartes géographiques, sur lesquelles on représente les étoiles fixes qui se trouvent dans une certaine partie du ciel. En prenant donc une carte céleste, où les étoiles fixes, dont la lune est voisine, sont marquées, il me sera aisé d'y marquer le vrai lieu où la lune se trouve alors ; et ma montre, que j'aurai bien réglée là, après y avoir observé le midi, m'indiquera le tems de cette observation. Puis, par la con-

naissance du mouvement de la lune, je calcule pour Berlin à quelle heure elle a dû paraître au même lieu du ciel où je l'ai vue. Si le tems observé convient parfaitement avec le tems de Berlin, ce sera une preuve que le lieu où je suis est exactement sous le méridien de Berlin, et que par conséquent la longitude est la même. Mais si le tems de mon observation n'est pas celui de Berlin, la différence donnera celle qui est entre les méridiens; et comptant 15 degrés pour chaque heure de tems, je conclurai de combien la longitude de cet endroit est plus ou moins grande que celle de Berlin: le lieu dont le tems est le plus avancé, est toujours celui de la plus grande.

Voilà le précis de la manière de déterminer les longitudes par les simples observations de la lune. Je remarque que les plus heureux momens pour mieux réussir dans cette opération et bien déterminer le lieu de la lune, sont, lorsqu'une étoile fixe se cache derriere la lune; on nomme cela occultation, et il y a deux momens à observer, celui où la lune par son mouvement couvre l'étoile, et celui où l'étoile reparaît. Les astronomes sont très-attentifs à bien saisir ces momens des occultations pour en conclure le vrai lieu de la lune.

Je m'attends cependant à une objection de la part de V. A. à l'égard de la mon-

tre ou de l'horloge, dont je suppose que notre observateur sur mer est muni, après avoir soutenu l'impossibilité que les horloges soient assez parfaites pour marcher toujours également malgré les secousses du vaisseau. Mais cette impossibilité ne regarde que les horloges qui restent justes pendant un très-long intervalle de tems, sans qu'on ait besoin de les régler : or pour les observations dont il s'agit ici, une montre ordinaire peut être suffisante, pourvu qu'elle marche uniformément pendant quelques heures, après l'avoir bien reglée sur le midi du lieu où l'on se trouve ; quand on doute que l'on y puisse encore compter le soir ou la nuit, lorsqu'on observera la lune, les étoiles nous fourniront aussi des moyens très-sûrs pour la regler de nouveau. Car puisque la situation du soleil par rapport aux étoiles fixes nous est parfaitement connue pour un tems quelconque, l'observation seule de quelqu'étoile suffit pour déterminer le lieu où le soleil doit se trouver alors, d'où nous pouvons conclure l'heure que l'horloge, bien reglée, devait montrer. Ainsi, au même instant où nous aurons fait l'observation de la lune, nous sommes en état de regler aussi notre montre par les étoiles, et toute montre est censée marcher régulièrement pendant un si petit intervalle.

le 29 *Septembre* 1761.

LETTRE

LETTRE CLXVIII.

CETTE dernière méthode de trouver les longitudes, fondée sur les observations de la lune, semble mériter la préférence, puisque les autres sont assujetties à trop de difficultés, ou que l'occasion de s'en servir est très-rare. Et V. A. comprend assez que le succès dépend uniquement du grand dégré de précision dans les opérations, et que les erreurs qu'on pourrait commettre, conduiraient à des conclusions sur lesquelles on ne saurait compter. Il est donc fort important d'expliquer à V. A. quel degré de précision on peut espérer d'atteindre en mettant cette méthode en usage, fondée sur le changement considérable que la lune éprouve d'un jour à l'autre dans sa position. Nous pouvons dire que si le mouvement de cet astre était plus rapide, il serait plus propre à nous découvrir les longitudes, et nous procurerait un plus haut degré de précision. Que si, au contraire, il était beaucoup plus lent, et que nous ne pussions presque discerner son changement d'un jour l'autre, nous ne saurions en tirer aucun secours pour la connaissance des longitudes.

Supposons donc que la lune change de place parmi les étoiles fixes de 12 dégrés en 24 heures ; elle changera donc d'un degré en deux heures, et d'un demi degré ou 30 minutes en une heure ; si nous nous trompions dans l'observation d'un lieu de la lune de 30 minutes, ce serait comme si nous observions la lune une heure plutôt ou plus tard, et nous commettrions l'erreur d'une heure dans la conclusion, sur la différence des méridiens. Or, une heure de différence dans les méridiens répond à 15 degrés dans leur longitude ; par conséquent, nous nous tromperions de 15 dégrés dans la longitude même du lieu que nous cherchons ; ce qui serait sans doute une erreur si énorme, qu'il vaudrait presqu'autant ne rien savoir du tout ; et la seule estime du chemin et de la route, quelqu'incertaine qu'elle fut, ne nous jetterait jamais dans une erreur aussi grossière. Mais il faudrait être bien mal-adroit pour se tromper de 30 minutes sur le lieu de la lune, et que les instrumens dont on se sert fussent bien mauvais, ce qui n'est pas à présumer.

Cependant, quelqu'excellens que soient les instrumens, et quelques soins qu'on y apporte, il est impossible d'éviter toute erreur ; et il faut être bien habile pour ne pas se tromper d'une minute dans la

détermination du lieu de la lune. Or, puisqu'il change de 30 minutes dans une heure, il changera d'une minute en deux minutes de tems. Quand donc on ne se trompe que d'une minute dans le lieu de la lune, il en naîtra dans la différence des méridiens l'erreur de deux minutes. Et une heure ou 60 minutes répondant à 15 degrés dans la longitude, il en résultera l'erreur d'un demi-degré dans la longitude, et ce degré de précision pourrait bien être suffisant, pourvu qne nous puissions y atteindre.

J'ai supposé jusqu'ici notre connaissance du mouvement de la lune si parfaite, que pour un méridien connu, nous pouvons déterminer le vrai lieu de la lune pour chaque moment, sans erreur; mais nous sommes encore fort éloignés de ce point de perfection. Il n'y a pas vingt ans qu'on se trompait de plus de 6 minutes dans le calcul, et ce n'est que depuisque l'habile professeur *Mayer* à Gottingue, poursuivant la route que j'avais proposée, est parvenu à diminuer cette erreur au-dessous d'une minute. Il pourrait donc bien arriver que du côté du calcul nous commissions aussi l'erreur d'une minute, qui jointe à celle d'une minute commise dans celle de l'observation du lieu de la lune, doublera celle qui en résultera sur la longitude du lieu où

nous nous trouvons ; et par conséquent elle pourrait bien monter à un degré entier : il est bon de remarquer encore que, si la lune parcourait en 24 heures un espace plus grand que 12 degrés, l'erreur dans la longitude serait moins considérable. On trouvera peut-être moyen de diminuer encore les erreurs auxquelles nous sommes assujettis dans l'observation et dans le calcul ; alors cette méthode nous découvrirait la longitude à moins d'un degré près. On peut même espérer d'arriver à un plus haut degré de précision. On n'a qu'à faire plusieurs observations, ce qui se peut, si l'on reste plusieurs jours dans un endroit : il n'est pas à craindre alors que toutes les conclusions soient également défectueuses, quelques-unes donneront la longitude cherchée trop grande, d'autres trop petite, et prenant un milieu entre toutes les conclusions, on pourra être sûr que cette longitude ne différera pas d'un degré de la vérité.

Les Anglais qui ont voulu par générosité encourager à cette recherche, ont proposé trois prix, le premier de 10000, le second de 15000, et le troisième de 20000 liv. sterlings. Le premier est destiné à celui qui aura trouvé les longitudes à un degré près, de manière qu'on puisse être sûr que l'erreur ne surpasse pas un degré. Le second à celui qui satisfera encore plus

exactement à la question, ensorte que l'erreur ne surpasse jamais deux tiers de degré ou 40 minutes. Le troisième sera donné à celui qui sera capable de déterminer les longitudes si exactement, que l'erreur n'aille jamais au-delà d'un demi-degré ou trente minutes : l'on ne demande point un plus haut degré de précision. Aucun de ces prix n'a encore été accordé ; (je ne compte pas la gratification délivrée à l'horloger, qui prétendait avoir fait des montres parfaites). M. *Mayer* demande actuellement le plus considérable, et je crois qu'il y a droit.

le 3 *d'Octobre* 1761.

LETTRE CLXIX.

V. A. doit être suffisamment instruite sur la découverte des longitudes : j'ai eu l'honneur de lui exposer plusieurs voies qui peuvent conduire à leur détermination.

La première et la plus naturelle est d'observer soigneusement le chemin et la direction de la route, mais les courans et les tempêtes auxquelles on est souvent exposé en mer, rendent cette méthode impraticable.

La seconde demande la construction d'une horloge si parfaite, qu'elle marche toujours uniformément, nonobstant les secousses du voyage; ce que les artistes n'ont pas trouvé encore le moyen d'exécuter.

La troisième est fondée sur l'observation des éclipses de lune, qui remplirait toutes les conditions, si l'occasion n'en était pas si rare, et qu'on pût s'en servir dans le besoin le plus pressant.

La quatrième regarde les éclipses des satellites de Jupiter, qui seraient très-propres à ce dessein, si l'on trouvait le moyen de se servir sur mer des lunettes sans lesquelles on ne saurait les voir.

Enfin les observations de la lune même nous ont fourni la cinquième, qui paraît la plus praticable, pourvu qu'on soit en état d'observer si exactement le lieu de la lune dans le ciel, que les erreurs, qu'on ne saurait éviter, ne surpassent jamais une minute, pour être sûr qu'on ne se trompe pas de plus d'un degré dans la détermination de la longitude.

C'est sur ces cinq méthodes, que ceux qui ont travaillé jusqu'ici à cette question, ont principalement dirigé leurs spéculations, mais il en est encore une sixième, qui semble aussi propre à nous conduire à la résolution de ce problême, si elle

était mieux cultivée ; et qui peut-être nous fournira un jour le plus sûr moyen de trouver les longitudes ; quoiqu'en ce moment, nous en soyons fort éloignés encore.

Elle n'est pas tirée du ciel, mais uniquement attachée à la terre, étant fondée sur la nature de l'aimant et de la boussole. Son explication m'ouvre une nouvelle carrière pour entretenir V. A. sur l'important article de la physique, qui regarde le magnétisme, et j'espère qu'elle sera charmée d'honorer de son attention les éclaircissemens que je vais lui présenter là-dessus.

Mes réflexions ne porteront que sur le sujet dont il s'agit ici, c'est-à-dire, sur la découverte des longitudes : je remarquerai en général, que l'aimant est une pierre qui a la qualité d'attirer le fer et de se disposer selon une certaine direction, et qu'elle communique la même qualité au fer et à l'acier, quand on le frotte ou touche seulement d'un aimant ; me proposant de mieux approfondir dans la suite cette qualité, et d'en expliquer la nature.

Je commencerai donc par donner la description d'une aiguille aimantée, qui, montée d'une certaine manière pour l'usage de la navigation, porte le nom de boussole.

Pour cet effet, on fait fabriquer avec de bon acier une aiguille à-peu-près comme celle de la fig. 2, Planche II, dont le bout B est pointu pour mieux le distinguer de l'autre A ; elle est munie au milieu C d'un petit chaperon creusé par le bas, pour mettre l'aiguille sur un pivot ou pointe D, comme on peut le voir par la seconde figure.

Les deux parties s'ajustent de manière que l'aiguille étant dans un parfait équilibre, puisse tourner librement ou rester fixe sur le pivot, en quelque situation qu'on la mette. Avant que de l'aimanter, il est bon de la tremper, pour la rendre aussi dûr qu'il est possible ; puis en la frottant ou la touchant d'un aimant excellent, elle acquerra tout de suite la vertu magnétique. Les deux bouts ne se balanceront plus, mais l'un comme B descendra comme s'il était devenu plus pesant, et pour la rétablir en équilibre, il faudrait ôter quelque chose du bout B, ou ajouter un petit poids à celui A ; mais les ouvriers prévoyant ce changement causé par le magnétisme, font dès le commencement le bout B plus léger que celui A, afin que l'éguille aimantée prenne d'elle-même la situation horizontale.

Elle acquiert alors une autre propriété bien plus remarquable ; elle n'est plus indifférente à toutes les situations, comme

auparavant ; mais elle en affecte une préférablement à toutes les autres, et se dispose d'elle-même de manière que l'extrêmité B est dirigée à-peu-près vers le nord, et l'extrêmité A vers le sud : et la direction de l'aiguille aimantée se rapporte à-peu-près comme la ligne méridienne.

V. A. se souvient que, pour tracer la ligne méridienne qui nous montre le nord et le sud, il faut recourir aux observations astronomiques, puisque le mouvement du soleil et des étoiles détermine cette direction ; et que quand on n'est pas pourvu des instrumens nécessaires, et sur-tout quand le ciel est couvert, on ne saurait tirer aucun secours du ciel pour tracer la ligne méridienne ; cette propriété de l'éguille aimantée est donc d'autant plus admirable, qu'elle nous montre en tout tems et en tout lieu la direction du nord, d'où dépendent les autres vers l'est, sud et ouest ; c'est pourquoi l'usage de l'aiguille aimantée ou de la boussole est devenu universel.

C'est dans la navigation que la boussole procure les plus grands avantages ; le cours d'un vaisseau devant toujours être dirigé vers un certain côté du monde, pour marcher vers un lieu proposé, conformément aux cartes géographiques ou marines, qui nous marquent la direction qu'il faut tenir. Aussi n'était-on point

en état avant cette découverte d'entreprendre de longs voyages par mer ; à peine osait-on s'éloigner des côtes, et dès qu'on les perdait de vue, on risquait de s'égarer, à moins que le ciel ne fut clair, et que les étoiles ne montrassent la route.

Un vaisseau en pleine mer, sans connaissance de la direction qu'il suit, se trouve précisément dans l'état d'un homme qui, les yeux bandés, devrait marcher vers l'église du dome à Magdebourg ; cet homme croyant aller d'un côté, irait vers un autre. La boussole est donc le principal guide dans la navigation ; et ce n'est qu'après cette importante découverte qu'on a hazardé de traverser l'océan, et découvert le nouveau monde : que ferait un pilote sans boussole, pendant ou après une tempête, quand il ne peut tirer aucun secours du ciel ; quelque route qu'il tienne, il ne saurait pas s'il marche vers le nord, vers le sud, ou de quelqu'autre côté du monde ? Il s'égarerait bientôt au point de ne pouvoir plus se sauver. Mais la boussole le tire bientôt de cet embarras, et V. A. jugera donc combien la découverte de l'aiguille aimantée ou de la boussole est importante.

le 6 d'Octobre 1761.

LETTRE CLXX.

Quoique l'aiguille aimantée affecte la situation d'être dirigée du sud vers le nord, il y a des causes accidentelles, capables de déranger cette direction, qu'il faut éviter très-soigneusement. C'est le voisinage de quelqu'aimant, fer ou acier. V. A. n'a qu'à présenter un couteau à une aiguille aimantée, elle quittera d'abord sa direction naturelle, pour aller vers le couteau, et en faisant tourner le couteau autour de l'aiguille, on lui fera prendre toutes les directions possibles. Pour être donc assuré que l'aiguille est dans sa direction naturelle, il faut en éloigner tout fer ou acier aussi bien que les aimans ; chose d'autant plus facile, que ces matières n'en troublent la situation, que lorsqu'elles sont fort proches; une fois écartées, leur effet devient insensible, pourvu que ce ne soit pas un aimant très-fort, qui pourrait bien agir sur l'aiguille à la distance de quelques pieds.

Mais le fer seul ne produit pas cet effet, puisqu'on peut se servir de boussoles dans les mines même de fer. V. A. sent bien, que sous terre, dans les mines, on se trouve dans le même cas que sur mer, lorsque le ciel est couvert,

qu'on y est obligé de pousser les mines suivant une certaine direction. Aussi dresse-t-on des plans qui représentent tous les chemins creusés sous terre, en se réglant uniquement sur la boussole dans cet ouvrage; c'est l'objet de la science qu'on nomme géométrie souterraine.

Pour revenir à notre boussole ou aiguille aimantée, j'ai remarqué qu'elle ne se dirige vers le nord qu'à-peu-près; ce n'est effectivement que par abus, qu'on dit que l'aimant a la propriété de se diriger vers le nord. Après avoir fait plusieurs aiguilles aimantées, j'ai toujours trouvé que leur direction à Berlin s'écartait de la véritable ligne méridienne, d'environ quinze degrés; or, une aberration de 15° est fort considérable.

La fig. 3, Planche II, représente d'abord la vraie ligne méridienne tirée du nord au sud, celle qui lui est perpendiculaire marque à droite l'est; et à la gauche l'ouest. Or l'aiguille aimantée AB, n'est pas dirigée sur la méridienne, mais s'en écarte de l'angle BO *nord* qui est de 15°; on nomme cet angle la *déclinaison* et quelquefois aussi la *variation* de la boussole ou de l'aiguille aimantée; et puisque l'extrêmité la plus proche du nord B, qu'on nomme boréale, s'en écarte vers l'ouest ou vers l'occident, on dit

que la déclinaison est occidentale de 15°.

Ayant donc déterminé la déclinaison de l'aiguille aimantée, on peut s'en servir aussi bien que si elle montrait précisément le nord. On entoure ordinairement l'aiguille d'un cercle, et on n'a plus qu'à marquer le nord à la juste distance du bout boréal B de l'aiguille, afin qu'elle en décline de 15° vers l'occident, et la ligne nord-sud nous marquera la vraie ligne méridienne, avec les quatre principaux points, le nord, l'est, le sud et l'ouest.

Pour mieux déguiser le secret, on cache l'aiguille aimantée dans un cercle de carton, comme la figure le montre, mais l'aiguille n'est plus visible, le carton faisant avec elle un seul corps dont on met le centre sur un pivot, afin que ce cercle puisse tourner librement; il prend une situation telle que le point marque; le nord est toujours dirigé vers ce point de l'horison, tandis que l'aiguille qu'on ne voit point, s'en écarte en effet de 15°. vers l'occident. Cette construction ne sert qu'à déguiser la déclinaison, que le vulgaire regarde comme un défaut, quoiqu'il soit plutôt un objet digne de notre admiration, comme nous le verrons ensuite; et le carton ne faisant qu'augmenter le poids de l'aiguille, empêche qu'elle ne tourne aussi librement que si elle était seule.

Pour prévenir cet accident, et se servir plus commodément de la boussole, on pose l'aiguille dans une boëte ronde, dont la circonférence divisée en 360°, porte le nom des principaux points de l'horizon. Au centre se trouve le pivot ou la pointe qui porte l'aiguille, qui prend d'abord une certaine direction; on tourne alors la boëte jusqu'à ce que le bout boréal de l'aiguille B réponde juste dans la circonférence au quinzième degré, en comptant depuis le nord vers l'occident; dès-lors les noms marqués conviendront avec les vrais côtés du monde.

On se sert cependant en mer d'aiguilles enchassées dans des cercles de carton, dont la circonférence est divisée en 360 degrés pour n'être pas obligé de tourner la boëte; alors le cercle de carton, qu'on nomme boussole, marquant les vrais côtés du monde, on n'a qu'à y rapporter la route que tient le vaisseau pour savoir vers quel côté il court, si c'est au nord, au sud, à l'est, à l'ouest, ou à quelque direction moyenne. C'est aussi sur la boussole, qu'on juge les vents, ou la contrée d'où ils soufflent, puisque c'est de-là qu'on leur impose des noms. Il faut cependant être bien assuré de la déclinaison ou variation de la boussole; nous l'avons bien trouvée ici de 15° vers l'ouest, mais elle pourrait être différente en d'au-

tres endroits, comme je le ferai voir dans la suite.

le 10 *Octobre* 1761.

LETTRE CLXXI.

QUAND j'ai dit que la déclinaison de la boussole est de 15° vers l'occident, cela ne doit s'entendre que de Berlin et pour le tems présent ; car on a remarqué que non-seulement cette déclinaison est différente dans les différens endroits de la terre, mais qu'elle change avec le tems dans le même lieu.

Ainsi la déclinaison magnétique est beaucoup plus grande à Berlin qu'autrefois ; je me souviens très-bien encore qu'elle n'a été que de 10° ; et au siécle passé il y eut un tems, où elle fut nulle, de sorte que la situation de l'aiguille aimantée convenait alors exactement avec la ligne méridienne. C'était vers l'an 1670 ; dès-lors la déclinaison est devenue successivement plus grande vers l'ouest, jusqu'à 15° ; comme elle est aujourd'hui ; et il est apparent qu'elle ira toujours en diminuant, jusqu'à ce qu'elle revienne nulle une seconde fois. Ce n'est cependant qu'une conjecture, et nous sommes bien éloignés de pouvoir prédire quelque chose de certain là-dessus.

d'ailleurs nous savons qu'avant 1670, la déclinaison était contraire, et dirigée vers l'orient; et plus nous remontons, plus nous trouvons que la déclinaison était grande vers l'orient. Or, nous ne saurions remonter plus haut qu'au tems où la boussole fut découverte, ce qui tombe dans le quatorzième siécle, mais c'est bien long-tems après cette découverte qu'on a commencé à en observer la déclinaison à Berlin, parce qu'on ne s'était pas apperçu d'abord que l'aiguille s'écartât de la ligne méridienne.

Mais à Londres, où l'on a été plus attentif sur cet article, on a observé la déclinaison magnétique l'an 1580 de 11°, 15', Est; en 1622 de 6°, 0', Est; en 1634 de 4°, 5', Est; en 1657 il n'y eut point de déclinaison; mais en 1672 elle fut de 2°, 30' Ouest; en 1692 de 6°, 0', Ouest, et à présent elle pourrait bien être de 18 degrés Ouest ou davantage. V. A. voit donc qu'au commencement du siécle passé elle était environ 8° vers l'Est; que dès lors elle a successivement diminué, jusqu'à ce qu'elle est devenue insensible en 1657, et qu'après ce tems, elle est devenue occidentale ou vers l'Ouest, en augmentant jusqu'à présent.

Elle a presque tenu le même ordre à Paris, mais elle y fut nulle l'an 1666, 9 ans plus tard qu'à Londres; d'où V. A. peut

peut observer une grande bizarrerie dans la diversité des déclinaisons, relativement aux divers lieux de la terre, dans le même tems et au même lieu pour des tems différens.

A présent, non-seulement par toute l'Europe, mais par toute l'Afrique et dans la plus grande partie de l'Asie, la déclinaison est occidentale, plus grande en quelques lieux, en d'autres plus petite que chez nous. Elle est plus grande dans certaines contrées en Europe, que chez nous; savoir en Ecosse et en Norvège, où la déclinaison va bien au-delà de 20°; en Espagne, en Italie et en Grece, au contraire, elle est plus petite et de 12° environ; sur les côtes occidentales de l'Afrique, elle est d'environ 10°; et sur les orientales de 12°. Mais avançant dans l'Asie vers l'Est, elle diminue successivement, et s'évanouit même au milieu de la Sibérie à Jeniseisk, elle disparaît encore en Chine, à Pekin, et au Japon, mais au-delà de ces endroits, plus à l'Est, elle devient orientale; et va en augmentant en ce sens par la partie boréale de la mer Pacifique jusqu'aux côtes occidentales de l'Amérique, d'où elle va de nouveau en diminuant, jusqu'à ce qu'elle s'évanouisse de rechef en Canada, à la Floride, aux isles Antilles et vers les côtes de Brésil. Au-delà de ces contrées,

plus vers l'orient ; c'est-à-dire, vers l'Europe et l'Afrique, elle redevient occidentale, comme je l'ai déja remarqué.

Pour avoir une parfaite connaissance de l'état présent de la déclinaison magnétique, il faudrait être en état de marquer pour tous les lieux, tant sur terre que sur mer, de quelle grandeur est à présent la déclinaison magnétique, et si elle tend vers l'occident ou vers l'orient. Cette connaissance serait sans doute très-utile, mais elle n'est point à espérer ; il faudrait qu'il y eut à présent par-tout des hommes habiles qui, observant, chacun dans son lieu, la déclinaison magnétique, nous communiquassent leurs observations avec exactitude : cependant il faudrait attendre quelques années, jusqu'à ce que les plus éloignées nous parvinsent ; ainsi nous n'arriverions à cette connaissance qu'au bout de quelques années. Or quoiqu'en deux ou trois ans la déclinaison de l'aiguille aimantée ne change pas considérablement, ce changement, quelque petit qu'il soit, empêcherait pourtant que la connaissance de toutes ces observations faites dans les différentes contrées de la terre, nous éclaircit parfaitement sur l'état présent des différentes déclinaisons de l'aiguille aimantée.

Il en est de même des tems passés ; à chaque année répond un certain état de

déclinaison magnétique qui lui est propre, et qui la distingue de tous les autres tems, passés et futurs. Il serait cependant bien à souhaiter que nous eussions cet état bien détaillé pour une seule année ; nous ne manquerions pas d'en tirer des éclaircissemens très-importans.

Feu M. *Halley*, célebre astronome d'Angleterre, a tâché de nous les donner pour l'année 1700, fondé sur un grand nombre d'observations faites en plusieurs lieux, sur terre et sur mer ; mais outre que les contrées très-considérables où ces observations n'ont pas été faites, y sont omises ; la plûpart de celles qu'il a employé, ont été faites plusieurs années avant l'époque de 1700 ; de sorte que jusques-là la déclinaison a pu souffrir des changemens assez considérables. Il s'ensuit que cet état, qu'on trouve représenté sur une carte générale de la terre, ne saurait être regardé que comme très-défectueux ; d'ailleurs, à quoi nous servirait-il à présent de savoir l'état de la déclinaison magnétique pour l'année 1700, qui dès lors a changé considérablement.

D'autres géographes Anglais ont donné depuis une carte semblable, où toutes les déclinaisons devraient être représentées telles qu'elles ont été l'an 1744. Mais comme elle a le même défaut que celle de *Halley* ; et que les observations leur

manquaient aussi pour plusieurs contrées, ils n'ont pas balancés à remplir ces espaces vuides, en consultant la carte de *Halley*, qui n'avait plus lieu certainement en 1744. V. A. jugera par-là, que notre connaissance sur cet article important de la physique est encore extrêmement imparfait.

le 13 *Octobre* 1761.

LETTRE CLXXII.

Il est bon d'expliquer aussi comment *Halley* s'y est pris pour représenter les déclinaisons magnétiques, dans la carte qu'il a dressée pour l'an 1700, afin que si V. A. la voit, elle en comprenne la construction.

D'abord il a marqué à chaque endroit la déclinaison de l'aiguille aimantée, telle qu'elle y a été observée, il a distingué parmi tous ces lieux, ceux où il n'y eut point de déclinaison, et il a vu que tous ces lieux tombent dans une certaine ligne, qu'il nomme la ligne de nulle déclinaison, puisque par-tout sous cette ligne il n'y en avait alors aucune. Cette ligne n'était, ni un méridien ni un parallele, mais elle traversait par des tours très-obliques l'Amérique septentrionale, et

en sortait près les côtes de la Caroline ; de-là elle se courbait pour traverser la mer Atlentique, entre l'Afrique et l'Amérique. Outre cette ligne, il en découvrit encore une autre, où la déclinaison s'évanouissait aussi ; elle descendait par le milieu de la Chine, et passait de-là par les isles Philippines et la nouvelle Hollande. L'on peut bien juger par le trait de ces deux lignes qu'elles ont une communication près de l'un et l'autre pole de la terre.

Après avoir fixé ces deux lignes de nulle déclinaison, M. *Halley* a remarqué que par-tout entre la première et la dernière, en passant de l'occident vers l'orient, c'est-à-dire, toute l'Europe, l'Afrique et presque toute l'Asie, la déclinaison était occidentale ; et de l'autre côté au-delà de ces deux lignes, c'est-à-dire, dans toute la mer Pacifique, elle était orientale. Ensuite il considéra tous les lieux où la déclinaison était de 5 dégrés occidentale ; et il vit qu'il pouvait encore tirer commodément par tous ces lieux une ligne qu'il nomme la ligne de cinq dégrés occidentale : il trouva aussi deux lignes de cette nature, dont l'une accompagnait, pour ainsi dire, la première sans déclinaison, et l'autre la dernière. Il en fit de même des lieux où la déclinaison était de 10°, ensuite de 15°, de 20°,

etc. et il vit que les lignes de ces grandes déclinaisons, étaient bornées vers les poles : pendant que celles des petites déclinaisons traversaient toute la terre et passaient par l'équateur.

En effet, la déclinaison surpasse à peine, 15° sur l'équateur, tant vers l'ouest que vers l'est ; mais en approchant des poles, on peut arriver à des lieux où la déclinaison surpasse 58° et 60° ; il y en a sans doute, où elle est encore plus grande ; surpassant même 90° et plus, et où le bout boréal de l'aiguille se tournera par conséquent vers le sud.

Enfin, après avoir tiré de semblables lignes par les lieux où la déclinaison était orientale de 5°. 10°. 15°, et ainsi de suite, M. *Halley* en a rempli toute la carte, qui représente la surface entière de la terre, sous chacune desquelles la déclinaison est par-tout la même, pourvu que les observations ne manquent pas. Aussi M. *Halley* a-t-il été assez scrupuleux pour ne pas continuer ces lignes au-delà des lieux dont il avait des observations : c'est pourquoi la plus grande partie de sa carte en est dépourvue.

Si l'on avait une telle carte juste et complette, on y verrait d'un coup-d'œil, quelle déclinaison aurait regné à chaque endroit dans le tems pour lequel la carte aurait été dressée ; et quoique le lieu proposé

ne se trouverait pas précisément sous une des lignes marquées, on estimerait aisément en le comparant avec les deux lignes entre lesquelles il serait situé, la déclinaison moyenne qui lui conviendrait. Si je me trouvais entre les lignes de 10°, et de 15° de déclinaison occidentale, je serais certain, que la déclinaison y serait plus grande que 10°, et moindre que 15°, et selon que je serais plus proche de l'un ou de l'autre, je trouverais aisément le juste milieu qui m'indiquerait la véritable déclinaison.

V. A. reconnaîtra sans difficulté par-là, que si l'on avait une telle carte exacte, elle nous servirait à découvrir des longitudes, au moins pour le tems auquel elle conviendrait. Supposons, pour expliquer cette méthode, que nous ayons cette cause dressée pour cette année, nous y verrions d'abord les deux lignes tracées par les endroits où la déclinaison est nulle, puis deux où elle serait de cinq dégrés; de 10°, de 15°, de 20°, tant occidentale qu'orientale : supposons même que pour plus grande exactitude, ces lignes soient tirées de dégré en dégré, et que je me trouve quelque part, en mer ou dans un pays inconnu, je tirerais donc d'abord une ligne méridienne, pour voir combien ma boussole s'en écarte, et je trouverais, par exemple, que la dé-

clinaison est précisément de 10°, vers l'est, et je serais sûr que je me trouve sous l'une ou l'autre de ces deux lignes, ce qui m'éclaircirait déja beaucoup dans mon incertitude. Enfin, j'observerais la hauteur du pole, qui étant à la latitude du lieu où je me trouverais, il ne resterait plus qu'à marquer sur les deux lignes mentionnées, les points dont la latitude serait la même que celle que je viens d'observer; et alors toute mon incertitude serait réduite à deux points très-éloignés l'un de l'autre; or, les circonstances de mon voyage décideraient aisément lequel de ces deux lieux est celui où je me trouve actuellement.

V. A. conviendra que si nous avions des cartes pareilles, cette méthode serait la plus commode de toutes celles que j'ai exposées; mais c'est précisément ce qui nous manque; et comme nous sommes encore fort éloignés de pouvoir en dresser une pour le tems passé, qui ne nous servirait à rien pour le tems présent, faute d'une quantité suffisante d'observations; nous sommes encore moins instruits de tous les changemens de déclinaison que chaque endroit éprouve par la suite du tems. Les observations faites jusqu'ici nous montrent que quelques endroits sont assujettis à des changemens très-considérables, et que d'autres n'en

souffrent presque point dans le même intervale de tems, ce qui nous ôte toute espérance de pouvoir jamais profiter de cette méthode, quelqu'excellente qu'elle soit en elle-même,

le 17 *Octobre* 1761.

LETTRE CLXXIII.

V. A. sera sans doute curieuse d'apprendre pourquoi les aiguilles aimantées affectent en chaque lieu de la terre une certaine direction, pourquoi cette direction n'est pas la même en différens lieux, et pourquoi dans le même endroit elle change avec le tems : je répondrai de mon mieux à ces questions importantes, craignant beaucoup de ne pas satisfaire à mon gré la curiosité de V. A.

Je remarque d'abord que les aiguilles aimantées ont cette propriété commune avec tous les aimans, et que ce n'est que leur figure propre à balancer sur un pivot et y tourner librement, qui la rend plus marquée. L'aimant suspendu par un fil, se tourne vers un certain côté, et lorsqu'on le met dans un petit vase pour le faire nager sur l'eau, le vase portant l'aimant affectera toujours une certaine direction. Tout aimant armé de deux points,

dont l'un se dirige vers le nord et l'autre vers le sud, sera sujet aux mêmes variations que les aiguilles.

Ces points sont très-remarquables dans chaque aimant, puisque c'est par où il attire le fer avec la plus grande force.

On les nomme les *Poles* d'un aimant, en empruntant cette dénomination de celle des poles de la terre ou du ciel, parce que l'un tend vers le pole boréal, et l'autre vers le pole austral ou méridional de la terre; ce qui ne doit s'entendre qu'à-peu-près; car, lorsqu'on introduisit ces noms, la déclinaison n'était pas encore connue. Celui des poles de l'aimant, qui se dirige vers le nord, est nommé pole boréal, et celui qui se dirige vers le sud, pole méridional ou austral.

J'ai déjà remarqué qu'une aiguille aimantée, ainsi que l'aimant même ne prend cette situation qui lui paraît naturelle, que lorsqu'elle se trouve hors du voisinage de quelqu'autre aimant ou du fer. Quand une aiguille aimantée se trouve proche d'un aimant, elle regle sa situation sur les poles de cet aimant; ensorte que le pole boréal de l'aimant attire le bout méridional de l'aiguille, et réciproquement le pole méridional de l'aimant, le bout boréal de l'aiguille; c'est pourquoi, en rapportant deux aimans ensemble, on nomme poles amis, ceux qui portent dif-

férens noms, et poles ennemis, ceux du même nom ; cette propriété est très-remarquable, lorsqu'on approche deux aimans, car alors on verra non-seulement que les poles de différens noms s'attirent mutuellement, mais que les poles du même nom se fuyent et se repoussent l'un l'autre. On le voit encore plus distinctement, lorsqu'on approche deux aiguilles aimantées l'une de l'autre.

Il est fort important pour voir cela, de bien considérer la situation qu'une aiguille aimantée prend dans le voisinage d'un aimant.

La barre A B, (*Planche II, fig.* 4), représente un aimant, dont le pole boréal est en B, et le pole méridional en A ; V. A. voit plusieurs positions de l'aiguille aimantée sous la figure d'une flèche, dont le bout marqué *b*, est le pole boréal, et *a*, le pole méridional. Dans toutes ces positions, le bout *b* de l'aiguille s'approche du pole A de l'aimant, et le bout *a* du pole B. Le point *c* marque le pivot, sur lequel l'aiguille tourne, et V. A. n'a qu'à bien considérer la figure pour juger quelle situation prendra l'aiguille, en quelque lieu autour de l'aimant qu'on fixe le pivot *c*.

Si donc il y avait quelque part un très-grand aimant A B, les aiguilles aimantées posées autour de lui, prendraient en chaque endroit une certaine situation, comme

nous voyons que cela arrive actuellement autour de la terre : ou si la terre elle-même était cet aimant, on comprendrait pourquoi les aiguilles aimantées se disposent partout selon une certaine direction. Aussi les physiciens, pour expliquer ce phénomène, soutiennent que toute la terre a la propriété d'un aimant, ou que nous la devons regarder comme un très-grand aimant. Quelques-uns d'entr'eux prétendent qu'il se trouve vers le centre de la terre un très-grand aimant qui a exercé sa force sur toutes les aiguilles aimantées, et même sur tous les aimans qui se trouvent sur la surface de la terte, et que c'est cette force qui les dirige en chaque lieu selon les mêmes directions que nous y observons.

Mais nous n'avons pas besoin de recourir à un aimant caché dans les entrailles de la terre : sa surface est tellement remplie de mines de fer et d'aimans, que leur force réunie peut bien suppléer au défaut de ce grand aimant. En effet, on tire tous les aimans des mines, marque bien sûre que ces substances se trouvent très-abondamment dans les entrailles de la terre, et que toutes leurs forces réunies fournissent la force générale, qui produit tous les phénomènes magnétiques. Nous sommes aussi en état d'expliquer par-là, pourquoi la déclinai-

son magnétique change avec le tems dans le même endroit ; car on sait que les mines de tous les métaux sont assujetties à des changemens continuels et particulièrement celles de fer, auxquelles se rapportent les aimans : tantôt il y a production de fer, dans un endroit, tantôt il s'y détruit ; de sorte qu'il y a aujourd'hui des mines de fer, où il n'y en avait point autrefois ; et où l'on en trouvait autrefois en abondance, on ne trouve presque plus rien aujourd'hui. Cela prouve suffisamment que la masse totale des aimans renfermés dans la terre, souffre des changemens très-considérables, et par-là, sans doute, les poles, sur lesquels se règle la déclinaison magnétique, changent aussi avec le tems.

C'est donc ici qu'il faut chercher pourquoi les déclinaisons magnétiques sont sujettes à des changemens si considérables aux mêmes lieux de la terre. Mais cette même raison, fondée sur l'inconstance de ce qui se passe dans ses entrailles, ne nous laisse aucune espérance de parvenir jamais à prédire d'avance la déclinaison magnétique, à moins qu'on ne trouve moyen de ramener les changemens de la terre à quelque loi fixe. Une longue suite d'observations, continuée pendant plusieurs siècles, pourrait peut-être nous fournir des éclaircissemens là-dessus.

le 20 Octobre 1761.

LETTRE CLXXIV.

Ceux qui prétendent que la terre renferme dans son sein un grand aimant, comme un noyau, sont obligés de dire, pour expliquer la déclinaison magnétique, que ce noyau change successivement de situation. Il faudrait alors qu'il fût détaché de la terre dans toutes ses parties; et comme sans doute, son mouvement suivrait une certaine loi, nous pourrions espérer de la découvrir un jour. Mais soit qu'il y ait un tel noyau magnétique dans la terre, soit que les aimans dispersés dans son sein réunissent leurs forces pour produire les phénomènes magnétiques, on peut toujours regarder la terre même comme un aimant, selon lequel se dirigent tous les aimans particuliers et toutes les aiguilles aimantées.

Quelques physiciens ont renfermé un aimant d'une très-grande force dans un globe, et ayant placé sur sa surface une aiguille aimantée, ils y ont observé des phénomènes semblables à ceux qui ont lieu sur la terre, après avoir placé l'aimant dans le globe de plusieurs façons différentes. Or, en considérant la terre comme un aimant, elle aura ses poles magnétiques, qu'il faut bien distinguer des poles naturels, autour desquels elle

tourne : ces différens poles n'ont rien de commun entr'eux, que le nom, mais c'est de la position des poles magnétiques à l'égard des naturels, que proviennent les irrégularités apparentes dans la déclinaison magnétique, et en particulier des lignes tracées sur la terre, dont j'ai eu l'honneur de rendre compte à V. A.

Pour mieux éclaircir cette matière, je remarque que si les poles magnétiques tombaient précisément dans les poles naturels, il n'y aurait point de déclinaison sur la terre; les aiguilles aimantées seraient précisément dirigées par-tout du nord vers le sud, et leur position serait précisément la même que celle de la ligne méridienne. Ce serait sans doute un très-grand avantage pour la navigation, puisqu'on connaîtrait alors exactement la route du vaisseau et la direction du vent : au lieu qu'à présent, on doit toujours chercher la déclinaison de la boussole, avant que de pouvoir déterminer les vrais côtés du monde. Mais la boussole n'apporterait alors aucun secours pour la détermination des longitudes, but auquel la déclinaison pourrait bien conduire un jour.

On peut en conclure que si les poles magnétiques de la terre différaient de beaucoup des poles naturels, et qu'ils fussent directement opposés l'un à l'autre, ce qui arriverait si l'axe magnétique de la terre,

(c'est la ligne droite tirée par deux poles magnétiques) passait par le centre de la terre ; alors les aiguilles aimantées se dirigeraient par-tout vers ces poles magnétiques, et il serait bien aisé d'assigner pour tous les lieux la direction magnétique. On n'aurait qu'à tirer, pour chaque lieu, un cercle qui passât en même tems par les deux poles magnétiques, et l'angle que ferait ce cercle avec le méridien du même lieu, donnerait la déclinaison magnétique.

Dans ce cas, les deux lignes sous lesquelles la déclinaison est nulle, seraient des méridiens tirés par les poles magnétiques. Mais puisque nous avons vû qu'actuellement ces deux lignes sans déclinaison, ne sont point des méridiens, et qu'elles font un tour fort bizarre ; on voit bien que ce cas n'a point lieu sur la terre. Halley a bien reconnu cette conséquence, et s'est cru oligé par-là de supposer un double aimant dans les entrailles de la terre, l'un fixe, et l'autre mobile ; en conséquence, il a établi quatre poles sur la terre, dont deux se trouvent près du pole boréal, et les deux autres, près du pole méridional, à distances inégales. Mais cette conclusion me paraît un peu hazardée : il ne s'ensuit pas de ce que les lignes sans déclinaison ne sont point des méridiens, qu'il y ait quatre poles ma-

gnétiques

gnétiques sur la terre : mais plutôt qu'il n'y en a que deux qui ne sont pas directement opposés l'un à l'autre, ou, ce qui revient au même, que l'axe magnétique ne passe point par le centre de la terre.

Il reste donc encore à considérer les cas où ces deux poles magnétiques ne sont pas directement opposés, et où l'axe magnétique ne traverse pas la terre par son centre ; car en embrassant l'hypothèse du noyau magnétique dans la terre, pourquoi l'un de ses poles serait-il précisément à l'opposite de l'autre ? Il se pourrait bien que ce noyau ne se trouvât point au milieu de la terre, mais qu'il fut à quelques distance du centre. Or, dès que les poles magnétiques ne sont plus opposés diamétralement l'un à l'autre, les lignes sous lesquelles la déclinaison est nulle, prennent effectivement un tour semblable à celui qu'on a conclu par les observations, il est même possible d'assigner aux deux poles magnétiques, de telles places sur la terre, que non-seulement ces lignes seraient d'accord avec les observations, mais aussi pour tous les degrés de déclinaison, tant occidentale qu'orientale, on trouve précisément des lignes semblables à celles qui nous ont d'abord paru si bizarres.

Pour connaître l'état de la déclinaison magnétique, il ne s'agit donc que de fixer

les deux poles magnétiques, et alors c'est un problème de géometrie, de déterminer la route de toutes ces lignes dont j'ai parlé dans ma lettre précédente, tirées pour tous les lieux où la déclinaison est la même, c'est par ce moyen encore qu'on serait en état de rectifier ces lignes et de remplir des contrées, où les observations nous manquent; et si l'on pouvait pour tous les tems à venir, assigner les lieux des deux poles magnétiques sur la terre, ce serait sans doute la plus belle solution du problême des longitudes.

On n'a donc point besoin d'un double aimant dans la terre, ou des quatre poles magnétiques, pour expliquer les phénomenes de la déclinaison des aiguilles aimantées, comme Halley l'a cru, mais d'un simple aimant ou des deux poles magnétiques, pourvu qu'on assigne à chacun sa juste place. Il me semble que, par cette réflexion, nous sommes beaucoup plus avancés dans notre connaissance sur le magnétisme.

le 24 Octobre 1761.

LETTRE CLXXV.

V. A. voudra bien se souvenir que lorsque nous frettâmes une aiguille sur un aimant, elle en acquit non-seulement la

propriété de se diriger vers un certain point de l'horizon, mais que son bout boréal descendit comme s'il fut devenu plus pesant, ce qui nous obligea d'en ôter quelque chose, ou d'ajouter au bout opposé, pour remettre l'aiguille en équilibre. J'ai fait en ne mettant point ce moyen en usage, plusieurs expériences pour m'assurer jusqu'où la force magnétique fait descendre le bout boréal de l'aiguille aimantée, et j'ai trouvé qu'il baissait jusqu'à faire un angle de 72 degrés avec l'horizon, et qu'à cette situation, l'aiguille restait en repos; il est bon de remarquer que j'ai fait ces expériences à Berlin, il y a environ six ans; car je ferai voir dans la suite que cette situation sous l'horizon est aussi variable que la déclinaison magnétique.

Nous voyons par-là que la force magnétique exerce un double effet sur les aiguilles; l'un dirige l'aiguille vers un certain côté de l'horizon dont l'éloignement de la ligne méridienne est ce qu'on nomme la déclinaison magnétique, l'autre lui imprime une inclinaison vers l'horizon, en faisant baisser l'un ou l'autre bout au-dessous, jusqu'à un certain angle.

Soit (*Planche* 11, *fig.* 5), *d e* la ligne horizontale, tirée selon la déclinaison magnétique, et l'aiguille prendra à Berlin la situation *b a* qui fait avec l'horizon *d e*

l'angle *dcb* ou *eca*, qui est 72°, et par conséquent avec la verticale *fg*, un angle *bcg*, ou *acf* de 18 degrés. Ce second effet de la force magnétique, par lequel les aiguilles aimantées affectent une certaine inclinaison avec l'horizon, est aussi remarquable que le premier; et comme le premier est nommé la déclinaison magnétique, le second est connu sous le nom d'inclinaison magnétique, qui mériterait autant que la déclinaison, d'être observée par-tout, avec tous les soins possibles, puisqu'on y trouve une aussi grande variété.

L'inclination a été trouvée à Berlin de 72°, à Basle seulement de 70°, le bout boréal de l'aiguille étant baissé, et l'autre par conséquent élevé de cet angle. Cela arrive dans nos contrées comme plus proches du pole magnétique boréal de la terre; et plus nous en approchons, plus l'inclinaison de l'aiguille devient grande, ou s'approche de la ligne verticale; de sorte que si nous pouvions arriver à ce pole même, l'aiguille y prendrait effectivement la situation verticale, son bout boréal étant tourné en bas et le méridional en haut. Plus au contraire on s'éloigne du pole boréal magnétique de la terre, en s'approchant du méridional, plus l'inclinaison diminue; elle disparaîtra enfin, et l'aiguille prendra une situation horizontale, quand on se trouvera à des distances égales des deux poles; mais en s'appro-

chant davantage du pole méridional de la terre, ce sera le bout méridional de l'aiguille qui s'enfoncera de plus-en-plus sous l'horizon, le bout boréal s'élevant au-dessus, jusqu'à ce que, dans ce pole même, l'aiguille devienne de rechef verticale, tournant son bout méridional en bas, et le boréal en haut.

Il serait bien à souhaiter qu'on fit partout des expériences aussi soigneuses pour déterminer l'inclinaison magnétique, qu'on l'a fait pour la déclinaison; mais on a trop négligé jusqu'ici cet important article de la physique expérimentale, qui n'est pas certainement moins curieux, ni moins intéressant, que celui de la déclinaison. Il n'en faut pas être surpris, cette espèce d'expérience est sujette à trop de difficultés, et presque toutes les manières qu'on a imaginées jusqu'ici pour observer l'inclinaison magnétique, ont manqué de succès: il n'y a qu'un artiste de Basle, nommé Diterich, qui ait réussi, après avoir construit une machine propre à ce dessein, suivant les vues du célèbre M. *Daniel Bernoulli*. Il m'avait envoyé deux de ces machines, par le moyen desquelles j'ai observé ici cette inclinaison de 72 degrés, et quelque curieux que soient d'ailleurs les Anglais et les Français sur ces sortes de découvertes, ils ne firent pas grand cas de la machine de

M. *Diterich*, quoiqu'elle soit la seule propre à ce dessein. Cet exemple nous fait voir combien les préjugés sont capables d'arrêter les progrès des sciences; et c'est ce qui est cause que Basle et Berlin sont les seuls endroits sur la terre où l'on connaisse l'inclinaison magnétique.

Les aiguilles faites pour les boussoles ne sont pas absolument propres à nous montrer la quantité de l'inclinaison magnétique, quoiqu'elles en indiquent l'effet en gros, parce que le bout boréal devient plus pesant dans nos contrées; pour faire usage d'aiguilles destinées à nous découvrir la déclinaison, nous sommes obligés de détruire l'effet de l'inclinaison, en rendant le bout boréal plus léger, ou le bout méridional plus pesant. Pour ramener l'aiguille dans la situation horizontale, on se sert ordinairement du dernier remède, et on attache un peu de cire au bout méridional de l'aiguille. Mais V. A. comprend aisément que ce remède n'a lieu qu'ici, où la force inclinatoire est d'une certaine grandeur, et que si nous voyageons avec une telle aiguille vers le pole boréal magnétique de la terre, la force inclinatoire augmentera, et que pour empêcher l'effet, il faudra ajouter encore de la cire sur le bout méridional. Mais si nous voyageons vers le midi, et que nous approchions de l'autre pole de la terre,

où la force inclinatoire sur le bout boréal de l'aiguille diminue, il faut alors diminuer la cire attachée à l'autre bout, l'ôter ensuite tout-à-fait, parce qu'elle est inutile, si l'on parvient à des endroits où l'inclinaison magnétique s'évanouit. De-là, si on approche davantage du pole méridional, le bout méridional de l'aiguille est poussé en bas, de manière que, pour prévenir cet effet, il faut attacher de la cire au bout boréal de l'aiguille. C'est de ce moyen qu'on se sert dans les grands voyages, pour maintenir la boussole dans une situation horizontale.

Il faudrait avoir, pour observer l'inclinaison magnétique, des instrumens faits exprès, et semblables à celui que l'artiste de Basle a inventé; on nomme cet instrument *inclinatoire*, mais il n'y a pas apparence qu'on en fasse sitôt usage (1). Encore moins pouvons-nous espérer qu'on fasse bientôt des cartes sur l'inclinaison magnétique, semblables à celles où l'on nous représente la déclinaison; on pourrait bien suivre la même méthode, et

(1) Depuis, à l'occasion du dernier passage de Vénus, au-devant du disque du soleil, MM. Mallet et Pictet de Genève, appellés à observer ce passage en Laponie, ont fait usage de cette inclinatoire, et ont trouvé au mois de Mai de l'année 1769, l'inclinaison magnétique d'abord à St. Pétersbourg de 73°, 40'; et ensuite en Laponie à Kola de 77°, 45'; à Oumba de 75°, 10', et à Panoi de 76°, 30'.

tirer des lignes par tous les lieux où l'inclinaison magnétique sera la même, de sorte qu'on aurait des lignes sans inclinaison, ensuite d'autres lignes où l'inclinaison serait de 5°, 10°, 15°, 20°, etc. tant vers le Nord que vers le Sud.

le 27 d'Octobre 1761.

LETTRE CLXXVI.

POUR se former une juste idée de l'effet de la force magnétique de la terre, il faut avoir égard, tant à la déclinaison qu'à l'inclinaison des aiguilles aimantées dans chaque lieu de la terre; nous savons qu'à Berlin la déclinaison est de 15°, vers l'occident; et que l'inclinaison au bout boréal est de 72°. En considérant ce double effet, la déclinaison et l'inclinaison, on aura la véritable direction magnétique pour Berlin, on tirera d'abord sur un plan horizontal une ligne qui fasse avec la méridienne un angle de 15°, vers l'occident, et de-là, descendant vers la ligne verticale, on tracera une nouvelle ligne qui fasse un angle de 72° avec celle-là; et celle-ci nous montrera la direction magnétique pour Berlin, d'où V. A. comprend, comment on devrait

assigner pour tout autre endroit la direction magnétique, pourvu qu'on en connût l'inclinaison et la déclinaison.

Chaque aimant nous découvre des phénomènes tout-à-fait semblables, on n'a qu'à le mettre sur une table couverte de limaille de fer, et l'on verra que la limaille se disposera autour de l'aimant B A, à-peu-près comme la *fig. 6*, *Planche II*, le représente, où chaque parcelle de limaille peut être regardée comme une petite aiguille aimantée, qui nous fait voir en chaque point autour de l'aimant, la direction magnétique. Cette expérience nous conduit à chercher la cause de tous ces phénomènes.

L'arrangement que nous observons dans la limaille de fer, ne nous laisse pas douter que ce ne soit une matière subtile et invisible qui enfile les parcelles de la limaille, et qui les dispose dans la direction que nous voyons. Il est également clair que cette matière subtile traverse l'aimant même, entrant par l'un des poles, et sortant par l'autre : de sorte qu'elle forme par son mouvement continuel autour de l'aimant, un tourbillon qui reconduit la matière subtile d'un pole à l'autre, et ce mouvement est sans doute extrêmement rapide.

La nature des aimans consiste donc dans un tourbillon continuel, ce qui les dis-

tingue de tous les autres corps ; et la terre elle-même, en qualité d'aimant, sera entourée d'un tourbillon pareil, qui agit par-tout sur les aiguilles aimantées, et fait des efforts pour les disposer suivant sa propre direction, qui est la même que j'ai nommée auparavant direction magnétique ; cette matière subtile sort donc continuellement par l'un des poles magnétiques de la terre, et après en avoir fait le tour jusqu'à l'autre pole, elle y rentre et la traverse dans toute son épaisseur, jusqu'à ce qu'elle s'échappe de nouveau par le premier pole.

On ne saurait décider encore par lequel des deux poles magnétiques de la terre, elle entre ou sort ; les phénomènes qui en dépendent, se ressemblent si parfaitement, qu'on ne peut les distinguer. C'est sans doute aussi ce tourbillon général de la terre qui fournit la matière subtile de tous les aimans particuliers au fer ou acier aimanté, et qui entretient les tourbillons particuliers qui les environnent.

Pour approfondir la nature de cette matière subtile et son mouvement, il faut remarquer qu'elle n'agit que sur les aimans, le fer et l'acier ; tous les autres corps lui sont absolument indifférens ; il faut donc qu'elle se trouve dans une autre relation à leur égard qu'à celui des

autres. Plusieurs expériences nous obligent à soutenir que cette matière subtile traverse librement tous les autres corps et même en tous sens : car, quand un aimant agit sur une aiguille, l'action est parfaitement la même, qu'on mette quelques corps entr'eux, ou qu'on n'y en mette pas, pourvu que ce ne soit pas du fer, et son action est la même sur la limaille de fer. Il faut donc que cette matière subtile traverse tous les corps, excepté le fer, aussi librement que l'air, et même le pur éther, puisque ces expériences réussissent également dans une espace vuidé d'air par la machine pneumatique. Cette matière est par conséquent différente de l'éther, et même beaucoup plus subtile. Et, à cause du tourbillon général de la terre, on peut dire qu'elle l'environne en entier et la traverse librement, comme les autres corps, à l'exception du fer et des aimans : et c'est pour cela qu'on pourrait nommer le fer et l'acier des corps magnétiques, pour les distinguer des autres.

Mais si la matière magnétique passe librement à travers de tout corps non-magnétique, quel rapport aurait-elle avec ceux qui le sont ? Nous venons de voir que le tourbillon magnétique entre par l'un des pôles de chaque aimant, et sort par l'autre, d'où l'on pourrait conclure

qu'il traverse aussi librement les aimans; ce qui ne les distinguerait pas des autres. Mais quand la matière magnétique ne traverse les aimans que d'un pole à l'autre, c'est une circonstance bien différente de celle qui a lieu dans les autres. Voilà donc le caractère distinctif. Les corps non magnétiques sont traversés librement par la matière magnétique en tout sens : les aimans n'en sont traversés que dans un seul sens, l'un des poles étant destiné à l'entrée, et l'autre à la sortie. Mais le fer et l'acier aimantés, remplissent cette dernière condition, mais quand ils ne le sont pas, on peut dire qu'ils n'accordent point un passage libre à la matière magnétique dans aucun sens.

Cela paraît étrange, puisque le fer a des pores ouverts, qui transmettent l'éther même, qui n'est pourtant pas si subtil que la matière magnétique. Mais il faut bien distinguer un passage simple, d'un autre où la matière magnétique puisse traverser le corps avec toute sa rapidité sans rencontrer aucun obstacle.

le 31 *d'Octobre* 1761.



LETTRE CLXXVII.

Il s'en faut bien, que je prétende expliquer parfaitement les phénomènes du magnétisme ; j'y trouve des difficultés que je n'ai pas rencontrées dans ceux de l'électricité. La cause en est, sans doute, que l'électricité consiste dans un trop grand ou trop petit dégré de compression d'un fluide subtil qui occupe les pores des corps, sans que ce fluide subtil, qui est l'éther, se trouve dans un mouvement actuel, mais le magnétisme ne saurait être expliqué sans supposer un tourbillon rapidement agité, qui pénétre les corps magnétiques.

La matière qui constitue ces tourbillons est aussi beaucoup plus subtile que l'éther, et traverse librement les pores des aimans qui sont impénétrables à l'éther même. Or, cette matière magnétique est répandue et mêlée dans l'éther comme l'éther avec l'air grossier, ou ainsi qu'il occupe et remplit les pores de l'air, on peut dire que la matière magnétique est renfermée dans les pores même de l'éther.

Je conçois donc que l'aimant et le fer ont des pores si petits, que l'éther tout entier n'y saurait entrer, et qu'il n'y a que la matière magnétique qui puisse les pénétrer, et qui, en y entrant, se sé-

pare de l'éther, de sorte qu'il s'y fait, pour ainsi dire, une filtration. Ce n'est donc que dans les pores de l'aimant que la matière magnétique se trouve toute pure; par-tout ailleurs elle est répandue dans l'éther, comme celui-ci l'est dans l'air.

V. A. imaginera aisément plusieurs fluides, dont l'un est toujours plus subtil que l'autre, et qui sont parfaitement mêlés ensemble, la nature nous en offre des exemples. Nous savons que l'eau renferme dans ses pores des particules d'air, que nous y voyons souvent monter en forme de petites bulles; il n'y a plus de doute encore que l'air ne renferme dans ses pores un fluide incomparablement plus subtil, qui est l'éther, et qui s'en sépare même en plusieurs occasions, comme dans l'électricité. Nous voyons à présent que cette progression va plus loin, et que l'éther contient encore une matière beaucoup plus subtile; c'est la matière magnétique, qui peut-être en renferme d'autres encore plus subtiles, cela n'est du moins pas impossible.

Après avoir établi cette matière magnétique, voyons comment elle produit ses phénomènes. Je considère d'abord un aimant, et je dis, qu'outre une très-grande quantité de pores remplis d'éther, comme tous les autres corps, il en contient en-

core de beaucoup plus étroits, où la matière magnétique seule peut entrer. En second lieu, que ces pores sont disposés de manière à avoir une communication entr'eux, et constituent des tuyaux ou canaux, par lesquels elle passe d'un bout à l'autre. Enfin, que cette matière ne saurait passer par ces tuyaux que dans un sens, sans pouvoir retourner dans un sens contraire : cette circonstance très-essentielle demande un plus grand éclaircissement.

Je remarque donc d'abord, que les veines & les vaisseaux lymphatiques dans les corps des animaux, sont des tuyaux d'une construction semblable, qui renferment des soupapes, représentées dans la *fig.* 7, *Planche II*, par les traits *m n*, dont la fonction est d'accorder en se levant un libre passage au sang lorsqu'il coule de A vers B, et de l'empêcher de refluer de B vers A.

Car si le sang voulait couler de B vers A, il pousserait le bout libre de la soupape *m* vers le côté *o* de la veine, et elle fermerait le passage entièrement ; on se sert ainsi de soupapes dans les conduits d'eau, pour empêcher qu'elle ne puisse retourner. Je crois donc de ne rien supposer qui soit contraire à la nature, quand je dis que les canaux, dans les aimans, qui n'admettent que la matière magnétique, sont de la même construction.

La *fig.* 8 représente ce canal magnétique, comme je l'imagine. Je le conçois garni en dedans de poils dirigés de A vers B, qui n'opposent aucun obstacle à la matière magnétique, quand elle passe de A vers B, puisqu'alors ils s'ouvrent d'eux-mêmes en *n*, pour laisser passer la matière en *o*; mais ils fermeraient d'abord le passage, si elle voulait rétrograder de B vers A. La nature des canaux magnétiques consiste donc à ne permettre d'entrée à la matière magnétique qu'en A, pour couler vers B, sans qu'il soit possible qu'elle les traverse en sens contraire, de B vers A.

Cette construction nous met en état d'expliquer comment la matière magnétique entre dans ces tuyaux, et les traverse avec la plus grande rapidité, lors même que l'éther tout entier est dans un repos parfait, ce qui est le plus surprenant: car qui peut produire un mouvement si rapide? C'est ce qui paraîtra très-clair à V. A., si elle veut bien se souvenir que l'éther est une matière élastique, ainsi la matière magnétique, qui est dispersée, en sera pressée de toutes parts. Que le canal magnétique A B soit encore tout-à-fait vuide, et qu'il se trouve à l'entrée A une molécule de matière magnétique *m*, qui soit pressée de toute part à l'ouverture du canal, où l'éther ne saurait entrer, elle y sera poussée

poussée avec la plus grande force, et y entrera donc avec la même rapidité ; bientôt un autre molécule de matiere magnétique s'y présentera encore et y sera poussée avec la même force ; et ainsi des molécules suivantes. Il en résultera donc un flux continuel de matière magnétique qui, ne rencontrant aucun obstacle dans ce canal, sortira en B avec la même rapidité qu'il entre en A.

Je conçois donc que tout aimant contient une grande multitude de ces canaux que je nomme magnétiques, et il s'ensuit très-naturellement que la matière magnétique dispersée dans l'éther, doit y entrer par un bout et sortir par l'autre avec impétuosité ; ou bien nous aurons un courant perpétuel de matière magnétique par les canaux de l'aimant : j'espère avoir surmonté par-là les plus grands obstacles qui puissent se rencontrer dans la théorie du magnétisme.

le 3 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXVIII.

V. A. a vu en quoi consiste le caractère distinctif des aimans, et que chaque aimant est pourvu de plusieurs canaux

dont je viens de donner la description.

La *figure* 1, *Planche* III, représente un aimant A B avec trois canaux magnétiques *a b*, par lesquels la matière magnétique coulera avec la plus grande rapidité, en entrant par les bouts *a*, et sortant par ceux *b* : elle en sortirait bien avec la même rapidité, mais rencontrant d'abord de l'éther mêlé dans l'air grossier, de grands obstacles s'opposeront à la continuation de son mouvement selon sa direction, et non-seulement son mouvement sera rallenti, mais sa direction détournée vers les côtés *c c*. Il en sera de même à l'entrée, vers les bouts *a a a*, à cause de la rapidité avec laquelle les molécules de matière magnétique y entrent, le tour viendra bientôt à celles qui sont encore vers le côtés *e e*, qui à leur tour seront remplacées par celles qui, sorties des bouts *b b b*, ont été déja détournées vers *cc*, ensorte que bientôt, la même matière magnétique sortie par les bouts *bbb* retourne vers ceux *aaa* en faisant le tour *b c d e a*, et ce mouvement autour de l'aimant, sera ce que nous nommons *tourbillon magnétique*.

Il ne faut pourtant pas s'imaginer que ce soit toujours la même matière magnétique, qui forme ces tourbillons ; une bonne partie s'en échappera sans doute, tant vers B que vers les côtés, en faisant

le tour ; mais, en récompense, il entrera par les bouts *a a a* de nouvelle matière magnétique, de sorte que la matière qui constitue le tourbillon, est compensée et bien variable ; il se conservera cependant toujours un tourbillon magnétique, dont l'aimant sera entouré, et qui produit les phénomènes observés ci-dessus dans la limaille de fer, qu'on jette autour de l'aimant.

V. A. voudra bien faire attention que le mouvement de la matière magnétique dans le tourbillon, est incomparablement plus lent hors de l'aimant que dans les tuyaux magnétiques où elle est séparée de l'éther, après y avoir été poussée par toute la force élastique de ce dernier ; et qu'en sortant, elle s'y mêle de nouveau, et doit y perdre la plus grande partie de son mouvement, ce qui fait que sa vîtesse pour rentrer par les bouts *a a a* est incomparablement moindre que dans les canaux magnétiques *a b*, quoique très-grande encore à notre égard. V. A. comprendra donc aisément, que les bouts des canaux magnétiques, par lesquels la matière entre et sort de l'aimant, sont ce que nous nommons ses poles, et que les poles magnétiques d'un aimant ne sont rien moins que des points mathématiques, toute la place où les bouts des canaux magnétiques aboutissent, étant un pole

magnétique, comme dans l'aimant représenté, *fig.* 6, *Planche II*, où toutes les surfaces A et B sont les deux poles.

Or, comme ces poles sont distingués en boréal et méridional, on ne saurait dire si c'est par le boréal ou le méridional, que la matière magnétique entre dans les aimans. V. A. verra dans la suite, que tous les phénomènes produits par l'entrée et la sortie, se ressemblent si parfaitement, qu'il paraît impossible de décider cette question par les expériences. Il sera donc indifférent de supposer, que la matière magnétique entre ou sorte par le pole boréal, ou par le méridional.

Quoiqu'il en soit, je désignerai par la lettre A, le pole où la matière magnétique entre, et par B, celui où elle sort, voulant indiquer par-là lequel est boréal ou méridional. Je passe à ces tourbillons, pour juger comment deux aimans agissent l'un sur l'autre.

Supposons (*fig.* 2, *Planche III*), que les deux aimans A B et *a b*, se regardent par les poles de même nom A, *a*, et leurs tourbillons seront tout-à-la-fois contraires entr'eux. La matière magnétique qui est en C entrera par A et par *a*, et ces deux tourbillons tâchant de se détruire l'un l'autre, la matière qui avance par E pour rentrer en A, rencontrera en D celle de l'autre aimant, qui revient par *e* pour

rentrer en *a* ; il devra naître un choc entre les deux tourbillons, où l'un repoussera l'autre; et cet effet réjaillit sur les aimans mêmes, qui, dans cette situation, se repoussent l'un l'autre. La même chose arriverait si les deux aimans se regardaient par les autres poles B et *b* ; c'est pourquoi on nomme les poles du même nom *ennemis*, parce qu'ils se repoussent actuellement.

Mais s'ils sont en présence par les poles de différent nom, il s'ensuivra un effet contraire, et V. A. voit déja qu'ils doivent s'attirer.

Dans la *fig.* 3 où les deux aimans se regardent par les poles B et *a*, la matière magnétique, qui sort par le pole B, trouvant d'abord la commodité d'entrer dans l'autre aimant par son pole *a*, ne se détournera point vers les côtés pour rentrer en A, mais passera directement par C dans l'autre aimant, pour en sortir en *b*, et faire le tour par les côtés *d d* afin de retourner, non pas au pole *c*, mais à celui A de l'autre aimant, en faisant le tour par *e* et *f*. Ainsi les tourbillons de ces deux aimans se réuniront en un seul, comme s'il n'y en avoit qu'un, et ce tourbillon étant comprimé de toutes parts par l'éther, poussera les deux aimans l'un vers l'autre, tellement qu'ils paraîtront s'attirer mutluelement.

Voilà pourquoi les poles de différens noms sont appellés *amis*, et ceux du même nom *ennemis*, phénomène principal des aimans, en ce que les poles de différens noms s'attirent, et ceux du même nom se repoussent.

le 7 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXIX.

Après avoir établi la nature de l'aimant dans ces canaux que la matière magnétique peut traverser dans un seul sens, parce que les soupapes, dont ils sont parsemés, empêchent le retour en sens contraire; V.A. ne doutera point qu'ils sont la continuation de ces pores, (*fig.* 8, *Plan.II*), dont les poils *n* sont dirigés en même sens, desorte que plusieurs de ces particules étant jointes ensemble, constituent un canal magnétique. Il ne suffit donc pas que la matière de l'aimant renferme plusieurs particules semblables, il faut encore qu'elles soient disposées ensorte qu'il en résulte des canaux continués d'un bout à l'autre, afin que la matière magnétique puisse les traverser.

Il y a donc apparence que le fer et l'acier contiennent de ces particules en grande abondance, et qu'elles n'y sont

pas disposées comme je viens de les décrire, mais dispersées par toute la masse, et qu'il n'y manque que cette disposition pour être de vrais aimans. Ils conservent bien alors toutes leurs autres qualités, et ne se distinguent des autres morceaux de fer et d'acier, que parce qu'ils ont de plus les propriétés de l'aimant ; une aiguille et un couteau, avec ou sans vertu magnétique, rendent les mêmes services. Le changement qui se fait dans l'intérieur en rangeant les particules dans l'ordre qu'exige le magnétisme, ne saurait être remarqué en dehors, et le fer ou l'acier qui a acquis la force magnétique, est nommé aimant artificiel, pour le distinguer de l'aimant naturel, qui ressemble à une pierre, quoique les propriétés magnétiques soient les mêmes dans les uns et dans les autres. V. A. sera sans doute curieuse d'apprendre de quelle manière le fer et l'acier peuvent être portés à recevoir la force magnétique, et devenir des aimans artificiels? Rien n'est si simple, et le voisinage d'un aimant est capable de rendre le fer un peu magnétique ; c'est le tourbillon magnétique qui produit cet effet, sans que le fer touche l'aimant.

Quelque dur que nous paraisse le fer, les particules qui renferment les pores magnétiques représentés ci-dessus, sont très

mobiles dans sa substance, et la moindre force suffit pour changer leur situation. La matière magnétique du tourbillon, en entrant dans le fer, disposera donc aisément les premiers pores magnétiques qu'elle y rencontre, suivant sa direction, au moins ceux dont la situation n'est pas fort différente ; et les ayant traversés, elle agira de la même manière sur les pores suivans : jusqu'à ce qu'elle se soit pratiqué un passage au travers du fer, et formé par-là quelques canaux magnétiques. La figure du fer contribue beaucoup à faciliter ce changement ; une figure allongée et placée selon la direction du tourbillon, y est la plus propre, puisque la matière magnétique, en passant par toute la longueur, y dispose beaucoup de particules dans leur juste situation, pour former des canaux magnétiques plus longs, et il est sûr, que plus il y aura de quoi former des canaux, plus ils seront longs, sans interruption, et plus le mouvement de la matière magnétique sera fort, et la force magnétique plus grande.

On a remarqué aussi que, lorsqu'on secoue fortement, qu'on frappe le fer posé dans un tourbillon magnétique, il en acquiert un plus haut dégré de magnétisme, parce que les moindres particules sont ébranlées et déliées par ces

secousses, pour se prêter facilement plus à l'action de la matière magnétique qui les pénetre.

Ainsi posant une petite barre de fer *a b*, (*Planche III*, *fig.* 4), dans le tourbillon de l'aimant A B, ensorte que sa direction convienne à-peu-près avec celle du courant *d e f* de la matière magnétique, elle traversera aisément la barre et y formera des canaux magnétiques, sur-tout quand on secoue ou frappe cette barre en même tems, pour faciliter le passage. On voit aussi que la matière magnétique, qui entre par le pole A et sort par le pole B de l'aimant, entrera dans la barre par le bout *a* et sortira par le bout *b*, desorte que le bout *a* deviendra le pole du même nom A, et *b* de celui B. Otant alors cette barre *a b* du tourbillon magnétique, elle sera un aimant artificiel, quoique bien faible, qui fournira son propre tourbillon et conservera sa force tant que les canaux magnétiques n'y seront point interrompus. Ce qui arrivera d'autant plus aisément que les pores du fer sont mobiles; ainsi la même circonstance, qui aide à produire le magnétisme, sert aussi à le détruire. Un aimant naturel n'est pas autant sujet à l'affaiblissement, parce que les pores sont beaucoup plus fermes, et qu'il faut des efforts plus considérables pour les déranger; j'en parlerai plus en détail dans la suite.

Je me propose d'expliquer ici la manière la plus naturelle de rendre le fer magnétique, quoique la force qu'il en acquiert soit très-petite, cela nous servira à comprendre ce phénomène remarquable et assez universel. On a observé que les pincettes de cheminée et autres meubles de fer qu'on tient ordinairement dans une situation verticale, ainsi que les barres de fer qu'on met sur les clochers, acquièrent avec le tems une force magnétique assez sensible; aussi s'est-on apperçu qu'une barre de fer, battue dans une situation verticale, ou rougie au feu, étant trempée dans l'eau froide dans la même situation, devient un peu magnétique, sans l'approche d'aucun aimant.

Pour avoir la raison de ce phénomène, V. A. n'a qu'à se souvenir que la terre est elle-même un aimant, et conséquemment entourée d'un tourbillon magnétique, dont la déclinaison et l'inclinaison de l'aiguille aimantée montre par-tout la la véritable direction : si donc une barre de fer se trouve long-tems dans cette situation, nous n'avons pas lieu d'être surpris qu'elle devienne magnétique. Nous avons vu aussi, que l'inclinaison de l'aiguille aimantée est à Berlin de 72 degrés et comme presque dans toute l'Europe, elle est à-peu-près la même, cette inclinaison ne diffère que de 18° de la situation ver-

ticale ; ainsi la situation verticale ne diffère pas beaucoup de la direction du tourbillon magnétique : une barre de fer qu'on a tenu long-tems dans cette situation, sera enfin pénétrée par le tourbillon magnétique, et doit acquérir par conséquent une force magnétique.

En d'autres contrées, où l'inclinaison est insensible, ce qui arrive près de l'équateur, ce n'est plus la même direction qui rend les barres de fer magnétiques, mais plutôt l'horizontale, ensorte que leur direction doit convenir avec la déclinaison de l'aimant, si l'on veut qu'elles acquièrent une force magnétique. Je ne parle ici que du fer; l'acier est trop dur pour cela, il faut employer des moyens plus efficaces pour l'aimanter.

le 10 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXX.

QUOIQUE la terre entière puisse être considérée comme un grand aimant, et qu'elle soit environnée d'un tourbillon magnétique, qui dirige par-tout les aiguilles aimantées, sa force magnétique est pourtant très-faible, et beaucoup moindre que celle d'un aimant très-médiocre, ce

qui paraît fort étrange à cause de l'énorme grandeur de la terre.

C'est, sans doute, parce que nous sommes très-éloignés des véritables poles magnétiques de la terre, qui, selon toute apparence, sont ensévelis bien profondément : or, quelque fort que soit un aimant, ce n'est que très-près de lui que sa force est considérable ; et plus on s'en éloigne, plus elle devient petite et s'évanouit enfin. C'est pourquoi la force magnétique qu'acquièrent avec le tems des masses de fer situées convenablement dans le tourbillon de la terre, n'est que très-petite, et à peine sensible, à moins que le fer ne soit très-mol et qu'il n'ait une figure propre à produire un tourbillon, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A.

Cet effet est beaucoup plus considérable près d'un aimant médiocre : de petites masses de fer y acquièrent bien vîte une force magnétique très-sensible, aussi sont-elles attirées vers l'aimant, au lieu que cet effet est imperceptible dans le tourbillon de la terre, et ne consiste qu'à diriger les aiguilles aimantées, sans les attirer, ni augmenter leur poids.

Une masse de fer plongée dans le tourbillon d'un aimant, nous offre aussi des phénomènes très-curieux, qui méritent bien une explication particulière ; non-

seulement cette masse est d'abord attirée vers l'aimant, mais elle attire elle-même d'autres morceaux de fer. Soit AB (*Planche III, fig. 5*), un aimant naturel, dans le voisinage duquel près du pole B, on place la masse de fer CD, et l'on verra, qu'elle est capable de soutenir une barre de fer EF. Qu'on y applique en F une reglede fer GH, dans une situation quelconque, par exemple horizontale, en la soutenant en H, et l'on s'appercevra qu'elle n'est pas seulement attirée par la barre en F, mais qu'elle est encore capable de supporter en H des aiguilles comme IA, et que ces aiguilles agissent aussi sur de la limaille de fer L, en l'attirant.

On peut propager ainsi la force magnétique à des distances très-considérables, et même la faire changer de direction, par les diverses positions de ces pièces de fer, quoiqu'elle diminue de plus-en-plus. V. A. sent bien, que plus l'aimant AB est fort par lui-même et plus la première masse CD en est près, plus aussi l'effet est considérable. Feu M. de Maupertuis avait un gros aimant si puissant, qu'à la distance de plusieurs pieds, la masse de fer CD exerçait encore une force très-considérable.

Pour expliquer ces phénomènes, V. A. n'a qu'à considérer que la matière magnétique qui sort avec rapidité par le pole B

de l'aimant, entre dans la masse de fer et en dispose les pores à former des canaux magnétiques, qu'elle traverse ensuite librement. De même, en entrant dans la barre, elle se formera des canaux magnétiques et ainsi de suite. Et puisque la matière magnétique en sortant d'un corps entre dans un autre, ces deux corps doivent s'attirer mutuellement, par la même raison que j'ai prouvé que deux aimans qui se regardent par leurs poles amis doivent s'attirer ; et toutes les fois que nous voyons que deux fers s'attirent, nous pouvons conclure sûrement que la matière magnétique qui sort de l'un, entre dans l'autre, par le mouvement continuel avec lequel elle s'introduit dans ces corps. C'est ainsi que, dans la disposition précédente des barres de fer, la matière magnétique les enfile toutes par son mouvement, et c'est la seule raison de leur attraction mutuelle.

Les mêmes phénomènes arrivent encore, lorsqu'on tourne vers la masse de fer, l'autre pole A de l'aimant, où entre la matière magnétique : le mouvement devient alors rétrograde, et conserve la même route ; car la matière magnétique contenue dans la masse de fer, s'en échappera alors pour se précipiter dans l'aimant, et fera en s'échappant les mêmes efforts pour y ranger les pores convenablement, que

si elle rentrait avec rapidité dans le fer. Il faut donc pour cela que le fer soit assez mol, et que ces pores fléchissent aisément, pour obéir aux efforts de la matière magnétique. Une difficulté que V. A. trouvera sans doute, consiste à expliquer pourquoi la matière magnétique, en entrant dans un autre barre de fer, change de direction et se regle suivant la longueur des barres, comme j'ai représenté son cours dans la figure? C'est un point fort important dans la théorie du magnétisme, et qui nous fait voir combien la figure des pieces de fer contribue à la production des phénomènes magnétiques.

Pour éclaircir cette circonstance, il faut se souvenir que cette matière subtile se meut très-aisément dans les pores magnétiques où elle est séparée de l'éther, et qu'elle rencontre des obstacles très-considérables, lorsqu'elle s'en échappe avec toute sa vîtesse pour rentrer dans l'éther et dans l'air.

Supposons que la matière magnétique, après avoir traversé la barre C D, (*fig.* 6, *Planche III*), entre dans la regle de fer E F posée perpendiculairement. Elle conserverait bien en entrant la même direction pour sortir en *m*, si elle ne trouvait pas une route plus aisée pour continuer son mouvement : mais rencontrant

en *m* les plus grands obstacles, elle change d'abord tant soit peu de direction vers F; où trouvant les pores propres à la continuation de son mouvement, elle se détournera de plus en plus de sa première direction, pour traverser la regle E F dans toute sa longueur; et comme si la matière magnétique évitait de sortir du fer, elle tache d'y continuer son mouvement tant qu'elle peut, en profitant de la longueur de la regle; mais elle sortirait sans doute en *m*, si la regle était très-courte. Or la longueur de la regle lui offrant un espace à parcourir, elle suit la direction E F, jusqu'à ce qu'elle soit obligée de s'échapper en F, où tous les canaux magnétiques, formés selon la même direction, ne permettent plus que la matière subtile puisse encore changer de direction et retourner le long de la regle; ces canaux étant non-seulement remplis de la matière qui les traverse, mais incapables par leur nature, de recevoir du mouvement en sens contraire.

le 14 *Novembre* 1761.

LETTRE

LETTRE CLXXXI.

V. A. vient de voir comment le fer peut recevoir le courant magnétique d'un aimant, le conduire à des distances assez considérables, et même en changer la direction. Joindre un aimant à des pièces de fer, est donc à-peu-près la même chose que l'agrandir, puisque le fer acquiert la même nature à l'égard de la matière magnétique; et comme on peut encore par ce moyen changer la direction du courant magnétique, puisque les poles sont les endroits où cette matière entre et sort de l'aimant, on est maître de transporter les poles où l'on veut.

C'est sur ce principe qu'est fondée l'armature des aimans, qui mérite bien que j'en donne une idée à V. A., puisque les aimans sont portés par-là à un plus haut dégré de force.

On donne ordinairement aux aimans, en les tirant des mines, la figure d'un parallépipède ou d'un parallélogramme rectangle avec une épaisseur comme A A B B, (*fig* 7, *Planche III*), dont la face A A est le pole où la matière magnétique entre, et B B celui où elle sort. Il est donc rempli selon la longueur A B des canaux *a b*, que la matière magnétique poussée par la force élastique de l'éther, traverse libre-

ment, sans aucun mélange de ce fluide avec la plus grande rapidité. Voyons maintenant de quelle manière on a coutume d'armer un aimant pareil.

On applique à chaque face A A et B B *Tab. III, fig.* 8, où se trouvent les deux poles de l'aimant, des plaques de fer *a a* et *b b* terminées en bas par des boutons 𝔅 et 𝔄; qu'on nomme des pieds; c'est ce qu'on appelle l'armature de l'aimant, et on dit alors qu'il est armé. Dans cet état, la matiere magnétique, qui se serait échappée par la face B B, entre dans la plaque de fer *b b*, où la difficulté de sortir suivant sa direction dans l'air, oblige d'en changer et de couler le long de la plaque *b b* dans le pied 𝔅, où elle est bien obligée de sortir, ne trouvant plus de fer pour continuer son mouvement. Il en est de même de l'autre côté, la matière subtile *y* sera conduite par le pied 𝔄, d'où elle passera par la plaque *a a* en changeant de direction pour entrer dans l'aimant et y parcourir les canaux magnétiques. Car la matière subtile contenue dans la plaque entre d'abord dans l'aimant; elle est suivie par celle qui se trouve dans le pied 𝔄, remplacée à son tour par celle de dehors, qui y étant poussée par l'élasticité de l'éther, pénetre le pied 𝔄 et la plaque *a a* avec une rapidité, dont la véhémence est capable d'y arranger les poles, et de former des canaux magnétiques.

L'on voit par-là que le mouvement doit être le même des deux côtés, avec cette différence, que la matière magnétique entrera par le pied 𝔄 et sortira par le pied 𝔅, desorte que c'est dans ces pieds que se trouvent les poles de l'aimant armé ; et comme les poles répandus auparavant par les faces A A et B B, sont à présent réunis dans les bases des pieds 𝔄 et 𝔅, il est très-naturel que la force magnétique doit être considérablement plus grande dans ces nouveaux poles.

Aussi, dans cet état, le tourbillon se formera-t-il plus aisément : la matière qui sort par le pied 𝔅 retournera facilement dans le pied 𝔄, en passant par C ; et le reste du corps de l'aimant ne sera plus entouré d'aucun tourbillon ; si quelque peu de matière magnétique ne s'échappe pas par la plaque *b b*, pour n'avoir pu changer si subitement : et s'il n'en entre quelque peu par la plaque *aa*, d'où naîtrait alors un faible tourbillon, qui conduira la matière subtile immédiatement par la plaque *b b* en *a a* ; cependant si l'armature est bien faite, ce second tourbillon est presque insensible, et par conséquent, le courant entre les pieds est d'autant plus fort.

La regle principale pour armer les aimans, est de bien polir tant les deux faces A A et B B de l'aimant que les pla-

ques de fer, de sorte qu'en les appliquant, elles touchent parfaitement l'aimant partout, la matière subtile passant aisément de l'aimant dans le fer, quand il n'y a point d'autre matière entr'eux ; mais s'il y avait un vuide ou de l'air entre l'aimant et les plaques, la matière magnétique perdrait presque tout son mouvement, son cours serait interrompu, et ne suffirait plus pour se frayer le chemin par le fer, en y formant des canaux magnétiques.

Le fer le plus mol et le plus doux est à préférer pour ces armatures, parce que ses pores se plient et se rangent fort aisément selon le courant de la matière magnétique ; aussi ce fer paraît-il très-propre à faire changer subitement la direction du courant ; il semble même que la matière magnétique affecte d'y poursuivre sa route aussi long-tems qu'il est possible, et n'en sort, que lorsqu'elle ne peut plus y continuer son mouvement : elle aime mieux faire de grands tours que de le quitter. Ce qui n'arrive pas dans l'aimant même, où les canaux magnétiques sont déja formés, ni dans l'acier, dont les pores n'obéissent pas si aisément aux efforts d'un courant magnétique. Mais quand une fois ces canaux sont formés dans l'acier, ils se maintiennent plus long-tems, et conservent leur force magnétique ; tandis que le fer doux, quelque force qu'il ait exercé

dans sa jonction avec un aimant, la perd presque tout-à-fait, dès qu'on l'en sépare.

Il faut consulter l'expérience pour les autres circonstances de l'armature; on trouve, quant aux plaques, que trop ou trop peu d'épaisseur sont nuisibles; mais d'ordinaire, les plaques les plus convenables sont très-minces, ce qui paraîtrait fort étrange, si nous ne savions pas que la matière magnétique est beaucoup plus subtile que l'éther, et que, par conséquent, la plaque la plus mince est suffisante pour en recevoir une très-grande quantité.

le 17 Novembre 1761.

LETTRE CLXXXII.

C'EST donc aux pieds de son armature, qu'un aimant exerce sa plus grande force, puisque ses poles y sont réunis; et chaque pied est capable de supporter un poids de fer, d'autant plus grand, que l'aimant est bon et excellent.

Ainsi un aimant A A B B, (*fig.* 9, *Planche* III), armé de plaques de fer *a a* et *b b* terminées par les pieds 𝔄 et 𝔅, portera non-seulement par le pied 𝔄 la regle de fer C D, mais celle-ci en portera un autre plus petite G H, qui portera à son tour encore une aiguille I K, qui enfin attirera de la limaille de fer L;

parce que la matière magnétique enfile toutes ces pièces pour entrer dans le pole 𝔄; ou si c'était l'autre pole, par lequel la matière magnétique sort de l'aimant, elle enfilerait de la même manière les pièces CD, EF, GH, IK; or, toutes les fois que la matière, en sortant d'une pièce de fer, entre dans une autre, on observe une attraction entre les deux pièces, ou plutôt elles sont poussées l'une à l'autre par l'éther environnant, parce que le courant de la matière magnétique entr'elles, diminue la pression de ce fluide.

Quand on charge ainsi l'un des poles de l'aimant, son tourbillon souffre un changement de direction très-remarquable; car comme, sans ce poids, la matière magnétique qui sort du pole 𝔅, en détournant son cours coulerait vers l'autre pole 𝔄, et que maintenant l'entrée dans ce pole reçoit suffisamment de matière par les pièces soutenues, il faut bien que celle du pole 𝔅, prenne un tout autre chemin qui la conduise enfin à la dernière pièce I K. Une portion en sera sans doute aussi portée vers la pénultième G H et vers les précédentes, puisque les suivantes, comme plus petites, ne fournissent pas suffisamment aux précédentes, mais toujours le tourbillon s'étendra jusqu'à la dernière. Par ce moyen, en proportionnant bien toutes ces pièces

entr'elles, en longueur et en épaisseur, l'aimant est capable d'en porter beaucoup plus, que si on le chargeait d'une seule pièce, où la figure entre aussi principalement en considération. Mais pour lui faire porter la plus grande charge qu'il soit possible, il faut faire ensorte que les deux poles réunissent leurs forces.

Pour cet effet, on applique aux deux poles 𝔄 et 𝔅, (*fig* 1, *Planche IV*), un morceau de fer doux C D, qui touche parfaitement les bases des pieds, et dont la figure soit telle, que la matière magnétique qui sort par 𝔅, y trouve le passage le plus commode pour rentrer par l'autre bout 𝔄; un morceau de fer pareil s'appelle support de l'aimant, et comme la matière magnétique y entre en sortant de l'aimant en 𝔅, et rentre dans celui-ci en 𝔄 en sortant du support, le fer sera attiré aux deux poles à la fois, et y tiendra par conséquent avec une très-grande force. Pour connaître ce que l'aimant y exerce, on attache au support par le milieu F un poids, qu'on augmente jusqu'à ce que l'aimant ne soit plus capable de le soutenir, et on dit alors que ce poids contrebalance la force magnétique de l'aimant : c'est ce que V. A. doit entendre quand on dit, que tel aimant porte dix livres, un autre trente livres, etc. On prétend que le cercueil de Mahomet est porté

par la force d'un aimant, ce qui ne serait pas impossible, puisqu'on a déja fait des aimans artificiels, qui portent au-delà de 160 livres.

Un aimant garni de son support, ne perd rien de la matière magnétique, qui achève son tourbillon entier au-dedans de l'aimant et du fer, de sorte que rien n'en échappe dans l'air. Puis donc que le magnétisme n'exerce sa force qu'autant que la matière s'échappe d'un corps pour entrer dans l'autre; un aimant, dont le tourbillon est fermé, ne devrait exercer nulle part de force magnétique: cependant quand on le touche sur la plaque en *a* avec la pointe d'une aiguille, on y sent une forte attraction, parce que la matière magnétique étant obligée de changer subitement de direction pour entrer dans les canaux de l'aimant, trouve une route plus commode en traversant l'aiguille, qui par conséquent sera attirée à la plaque *aa*. Mais, par là même, le tourbillon sera dérangé en dedans, il ne coulera plus si abondamment dans les pieds; et si l'on touche la plaque par plusieurs aiguilles, ou qu'on y applique des règles de fer plus fortes, on détruira tout-à-fait le courant des pieds, et la force qui attire le support s'évanouira entièrement, de sorte qu'il sera arraché sans effort; on reconnaît par-là, que les pieds

perdent leur force magnétique, lorsque l'aimant en exerce en d'autres endroits, et l'on est en état d'expliquer par ce moyen plusieurs phénomènes très-surprenans, qui, sans la théorie, seraient absolument insolubles.

C'est ici la place de l'expérience qui nous montre, qu'après avoir appliqué à un aimant armé son support, on peut augmenter de jour en jour le poids qu'il est capable de porter, qui pourra surpasser enfin le double de celui qu'il avait porté d'abord. Il faut donc faire voir comment la force magnétique peut augmenter avec le tems dans les pieds de l'armature. Le cas rapporté ci-dessus du dérangement du tourbillon nous apprend, qu'au moment qu'on applique le support, le courant de matière magnétique est encore assez irrégulier, qu'une bonne partie s'en échappera encore par la plaque *b b*, et que ce ne sera qu'avec le tems qu'elle se frayera des canaux magnétiques dans le fer; aussi est-il probable que, lorsque le courant sera devenu plus libre, il s'en formera de nouveaux dans l'aimant même, entant qu'il contient, outre ces canaux fixes, des poles mobiles comme le fer. Mais dès qu'on arrache le support, le courant étant troublé, et ces nouveaux canaux détruits en grande partie, la force redevient subitement aussi petite qu'au

commencement, et il faut attendre quelque tems, jusqu'à ce que ces canaux avec le tourbillon soient remis dans leur état précédent. J'avais fait autrefois un aimant artificiel, qui ne portait d'abord que dix livres, et quelque tems après je fus très-surpris de voir qu'il en portait plus de trente. On remarque, principalement dans les aimans artificiels, que le tems seul les renforce très-considérablement, mais que cette accroissement de force ne dure que jusqu'à ce qu'on en arrache le support.

le 21 Novembre 1761.

LETTRE CLXXXIII.

Après avoir expliqué à V. A. la nature des aimans en général, il me reste un article aussi curieux qu'intéressant, sur la matière dont on communique au fer, et principalement à l'acier, la force magnétique, et même la plus grande qu'il soit possible.

V. A. a bien vû que, plaçant du fer dans le tourbillon d'un aimant, il acquiert une force magnétique, mais qui s'évanouit presque tout-à-fait, dès qu'on l'en éloigne, et que le tourbillon seul de la terre est capable d'imprimer au fer

avec le tems une légère force magnétique ; or l'acier étant plus dur que le fer, et presque tout-à-fait insensible à cette action du tourbillon magnétique, il faut des opérations plus fortes pour l'aimanter ; mais aussi conserve-t-il la force magnétique plus long-tems.

Il faut pour cela recourir à l'attouchement et même au frottement : je commencerai donc par expliquer de quelle méthode on se servait ci devant, pour rendre magnétique les aiguilles des boussoles ; toute l'opération consistait à les frotter au pole d'un excellent aimant nud, ou armé.

On posait l'aiguille *a b c* (*fig.* 2, *Planche IV*) sur une table, on passait le pole B de l'aimant par dessus, de *b* vers *a*, et étant parvenu au bout *a*, on levait l'aimant bien haut, et on le ramenait par l'air en *b*, on répettait cette opération plusieurs fois de suite, en prenant bien garde que l'autre pole de l'aimant, qui aurait tout gâté, n'approchât point de l'aiguille. Après avoir passé quelquefois le pole B de l'aimant sur l'aiguille de *b* en *a*, l'aiguille était devenue magnétique, et le bout *b* du même nom que celui de l'aimant dont on l'avait frotté. Pour rendre l'extrêmité *b* pole boréal, il aurait fallu frotter avec le pole de ce nom dans l'aimant, en allant de *b* vers *a* ; mais en frottant avec

le pole méridional, il faudrait aller de *a* vers *b*.

Cette manière de frotter ou toucher, est nommée à *simple touche*, puisqu'on ne touche que d'un seul pole; mais elle est fort défectueuse, et ne communique que peu de force à l'aiguille, quelqu'excellent que soit l'aimant; aussi ne réussit-elle pas, lorsque l'acier est porté au plus haut degré de dureté, ce qui serait pourtant l'état le plus propre pour la conservation du magnétisme. V. A. jugera elle-même fort aisément des défauts de cette manière à *la simple touche*.

Supposons que B soit le pole de l'aimant par où sort la matière magnétique, puisque les effets des deux poles sont si semblables, qu'il est impossible d'y remarquer la moindre différence: ayant posé le pole sur le bout *b* de l'aiguille, la matière magnétique y entre avec toute la rapidité dont elle se meut dans l'aimant, incomparablement plus grande que celle du tourbillon qui est dans l'air extérieur; mais que deviendra cette matière dans l'aiguille? elle ne saurait sortir par le bout *b*, elle s'efforcera donc de percer par l'aiguille vers *a*, et le pole B marchant du même côté favorisera ces efforts; mais dès que le pole B parviendra vers *a*, la difficulté de sortir par le bout *a* causera des efforts contraires, dont la matière ma-

gnétique sera poussée de *a* vers *b* ; et avant que le premier effet soit entièrement détruit, celui-ci ne saurait avoir lieu. Ensuite quand on porte de nouveau le pole B sur le bout *b*, on détruit encore ce dernier effet, mais pourtant sans produire un courant en sens contraire de *b* vers *a*, et par conséquent, lorsque le pole B parviendra au-delà de *c* vers *b*, sur-tout quand on appuyera plus sur la moitié *c a* : d'où il est clair, que l'aiguille ne saurait acquérir que peu de force magnétique.

Quelques-uns aussi ne frottent que la moitié *c a* (*fig.* 10, *Planche III*), en passant de *c* vers *a*, et d'autres ne font que toucher le bout *a* de l'aiguille par le pole B de l'aimant, et cela à-peu-près avec le même succès. Mais il est évident que la matière magnétique, qui entre par le seul bout *a*, ne saurait agir assez vigoureusement sur les pores de l'aiguille, pour les arranger conformément à la nature magnétique, et que la force qui lui sera imprimée par cette méthode, doit être très-petite, et même nulle, si l'acier est bien trempé.

Il me semble donc qu'on pourrait remédier à ces défauts de *la simple touche*, de la manière suivante ; du succès de laquelle je ne doute point, quoique je ne l'aie pas essayée encore, mais d'autres expériences m'en assurent.

Je voudrais enchasser le bout *b*, (*fig.* 11, *Planche III*), de l'aiguille dans une regle de fer doux E F ; et je crois qu'il serait bon de faire cette regle très-mince et aussi étroite qu'il serait possible, mais le bout doit être parfaitement appliqué, et même pris dans un creux bien ajusté. Quand on pose le pole B de l'aimant sur le bout *b* de l'aiguille, la matière magnétique qui y entre, ne trouvant presqu'aucune difficulté à traverser la regle de fer, prendra d'abord son cours dans la direction *b d*; et à mesure que le pole avance vers *a*, la matière magnétique n'a, pour continuer ce cours, qu'à arranger les pores sur lesquels elle agit immédiatement ; et quand on sera parvenu jusqu'en *a*, tous ces pores, ou au moins la plupart, seront déjà disposés suivant cette direction. Quand ensuite on recommence à frotter le bout *b*, on ne détruit rien, mais on continue de perfectionner le courant de la matière magnétique, suivant la même direction *b d* en arrangeant aussi les pores qui ont résisté à la première opération, et ainsi les canaux magnétiques, dans l'aiguille, deviendront toujours plus parfaits. Quelques traits du pole B seront suffisans pour cela, pourvu que l'aimant ne soit pas trop faible : et je ne doute pas que l'acier le mieux trempé, ou rendu aussi dur qu'il est possible, n'obéisse à

cette méthode ; ce qui est un grand avantage pour la construction des boussoles, puisqu'on a remarqué que les aiguilles ordinaires perdent souvent, par un léger accident, toute leur force magnétique ; ce qui exposerait les vaisseaux aux plus grands dangers, si l'on n'en avait pas d'autres en réserve. Mais quand on fait les aiguilles d'un acier bien trempé, ces accidens ne sont point à craindre, et comme il faut plus de force pour les rendre magnétiques, elles conservent cette qualité avec plus de vigueur.

le 24 Novembre 1761.

LETTRE CLXXXIV.

Au lieu de cette méthode d'aimanter le fer ou l'acier par la simple touche, en le frottant avec un seul des poles d'un aimant, on se sert aujourd'hui de *la double touche*, où l'on frotte avec les deux poles à la fois ; ce qui se fait aisément par un aimant armé.

Soit EF, (*Planche* IV, *fig.* 4), une barre de fer ou d'acier, qu'on veut rendre magnétique, après l'avoir bien fixée sur une table, on y pose les deux pieds A et B d'un aimant. Dans cet état, V. A.

Mais voici des moyens pour remédier à cet inconvénient.

Ayant disposé dans les petits intervalles *c d*, (*fig*. 4, *Planche IV*), les pores convenablement au magnétisme, il faut passer et repasser plusieurs fois l'aimant sur la barre d'un bout à l'autre, sans l'en ôter qu'on ne s'apperçoive que l'attraction n'augmente plus; car il est sûr que l'attraction croît à mesure que la force magnétique augmente. La barre E F sera aimantée par cette opération, ensorte que le bout E vers lequel le pole A était tourné, sera le pole ami de A, et par conséquent du même nom que l'autre pole B. Ensuite, en ôtant l'aimant, puisqu'il y a des canaux magnétiques formés par toute la longueur de la barre, la matière magnétique répandue dans l'air traversera ces canaux et fera de la barre un véritable aimant. Elle entrera par le bout *a*, et sortira par celui *b*, d'où une partie, au moins, retournera en *a*, et formera un tourbillon selon que la figure de la barre le permet.

Je remarque, à cette occasion, que la formation d'un tourbillon est absolument nécessaire pour augmenter le magnétisme; car si toute la matière magnétique, qui soit par le bout *b* échappait, et se dispersait entiérement, sans retourner en *a*, l'air n'en fournirait pas assez à l'autre bout *a*, ce qui diminuerait la force ma-

gnétique. Mais si une bonne partie de celle qui échappe par le bout *b*, retourne en *a*, l'air est bien suffisant pour fournir le reste, et peut-être encore davantage, si les canaux magnétiques de la barre sont capables de la recevoir ; la barre acquerra donc alors une force magnétique beaucoup plus grande.

Cette considération me conduit à exposer à V. A. comment on peut conserver la matière magnétique dans les barres aimantées. Comme il s'agit d'empêcher que la matière magnétique qui les traverse, ne se disperse dans l'air, on dispose toujours ses barres par *paires*, qui sont de même grandeur. On les met sur une table, dans une situation parallele, ensorte que les poles amis ou de différens noms soient tournés du même côté, comme dans la *figure* 5.

M M et N N représentent les deux barres, dont les poles amis *a b*, *b a* sont tournés du même côté. Pour ne pas se tromper, on fait d'abord sur chaque barre une marque X, au bout où est le pole boréal, et on applique de chaque côté un morceau de fer doux E E et F F, pour recevoir le courant magnétique. De cette manière, toute la matière magnétique qui traverse la barre MM, et qui sort par le bout *b*, passe dans le morceau de fer E E et s'y ouvre aisément un chemin, pour

passer dans le bout *a* de l'autre barre NN, d'où elle entrera par le bout *b* dans l'autre morceau de fer FF, qui la reconduit dans la première barre MM par le bout *a*. C'est ainsi que la matière magnétique continuera à circuler, sans qu'il en échappe rien ; et en cas même qu'il n'y en eût pas d'abord assez pour remplir le tourbillon, l'air fournira le reste, et le tourbillon conservera toute sa force dans les deux barres.

On peut employer aussi cette disposition des deux barres pour les aimanter l'une et l'autre à la fois. Il faut passer les deux poles d'un aimant sur les deux barres, en passant de l'une à l'autre par les morceaux de fer, et faire plusieurs tours, en observant soigneusement que les deux poles de l'aimant A et B soient tournés comme la figure l'indique.

Cette manière d'aimanter deux barres à la fois, doit être plus efficace que la précédente, puisque dès le premier tour qu'on aura fait avec l'aimant, la matière magnétique commencera à couler par les deux barres, moyennant les deux morceaux de fer. Ensuite en continuant à le passer sur les deux barres, on y rangera une plus grande quantité de pores conformément au magnétisme, et on ouvrira plusieurs canaux magnétiques, dont le tourbillon sera fortifié de plus en plus, sans

souffrir aucun affaiblissement. Si les barres sont épaisses, il sera bon de les tourner et de les frotter de la même manière sur les autres faces, afin que l'action magnétique les pénétre tout-à-fait.

Après avoir acquis ces barres magnétiques, MM, NN, (*Planche IV*, *fig.* 6), on peut s'en servir au lieu d'aimant naturel, pour en aimanter d'autres. On les joint ensemble en haut, de sorte que les deux poles amis *a b* se touchent, et on éloigne en bas les deux autres poles *b* et *a*, autant qu'on le juge à propos. Ensuite on frotte par les deux bouts d'en bas, qui tiennent lieu des deux poles d'un aimant, deux autres barres E F de la manière que j'ai expliquée ci-dessus.

Comme ces deux barres sont jointes en forme de compas, on a la commodité de les ouvrir aussi peu qu'on veut, ce qu'on ne pourrait faire avec un aimant; et le courant magnétique passera aisément en haut, où les barres se touchent, de l'une dans l'autre; on pourrait encore y mettre un petit morceau de fer doux P, pour mieux entretenir ce courant; de cette manière, on aimantera très-promptement autant de doubles barres qu'on voudra.

le 28 *Novembre* 1761.

LETTRE CLXXXV.

Quoique cette manière d'aimanter à double touche soit préférable à la précédente, on ne saurait cependant porter la force magnétique au-delà d'un certain dégré. Soit qu'on se serve d'un aimant naturel, ou de deux barres magnétiques pour frotter d'autres barres, celles-ci n'acquerront jamais autant de force que celles-là ; l'effet ne pouvant jamais être plus grand que la cause.

Si les barres avec lesquelles on frotte, ont peu de force, celles qui sont frottées en auront encore moins ; la raison en est évidente : car comme des barres destituées de force magnétique ne sauraient en produire en d'autres, une force magnétique médiocre n'est pas capable d'en produire une plus grande, au moins par la méthode que je viens de décrire.

Mais on ne doit pas prendre cette regle à la rigueur, et croire qu'il soit impossible de produire une plus grande force magnétique, à l'aide d'une plus petite. J'aurai l'honneur d'expliquer à V. A. une méthode, par laquelle on peut augmenter la force magnétique presqu'aussi loin qu'on veut en commençant par la plus petite. C'est une découverte moderne, qui méri-

te d'autant plus d'attention, qu'elle jette un grand jour sur la nature du magnétisme.

Supposons qu'on n'ait qu'un aimant très-faible, ou, au défaut d'aimant naturel, des barres de fer rendues un peu magnétiques par le seul tourbillon de la terre, comme je l'ai exposé à V. A. dans mes lettres précédentes; il faut se procurer huit barres d'acier fort petites et point trempées, pour recevoir plus aisément la petite force magnétique que le faible aimant, ou ces barres un peu magnétiques, sont capables de leur communiquer, en frottant chaque paire ou couple, de la manière que j'ai exposée précédemment. Ayant donc huit barres tant soit peu magnétiques, on en prend deux paires qu'on joint ensemble comme on voit, (*fig.* 7, *Pla. IV*).

En réunissant les deux barres par les poles de même nom, on n'en fait qu'une épaisse du double, et dont on forme le compas A C et B D, pour entretenir mieux le courant magnétique; on peut mettre un morceau de fer doux P en haut C. D. On ouvre les branches de ce compas autant qu'on le juge à propos, et l'on en frotte, l'une après l'autre, les autres barres qui, par ce moyen, acquerront plus de force qu'auparavant, puisque celle des premières s'y réunit. On n'a ensuite qu'à joindre ces deux paires nouvellement frottées, de la même manière, et en frotter

l'une après l'autre les deux paires dout on s'était servi la premièrefois, et la force de celles-ci sera considérablement augmentée. On joindra ensuite ces deux paires ensemble, et on frottera encore les autres pour y augmenter la force magnétique, et on continuera de frotter alternativement deux paires par les deux autres : on les portera par cette opération à un tel dégré de force, qu'ilne sera plus susceptible d'augmentation ultérieure, même en la continuant plus long-tems. Quand on a plus de quatre paires de ces barres, au lieu de deux paires, on peut en joindre trois ensemble, et frotter ensuite les autres ; on les portera plus vîte, par ce moyen, au plus haut dégré.

Les plus grands obstacles sont donc surmontés, et, par le moyen de ces barres jointes par deux ou plusieurs paires ensemble, on en frottera d'autres d'acier bien trempé, et qui seront, ou de même grandeur, ou plus grandes encore que les premières auxquelles on communiquera ainsi la plus grande force dont elles soient susceptibles.

En commençant par les barres que je viens de décrire, on peut pousser ces opérations jusqu'à des barres d'une grandeur énorme, et faites de bon acier trempé, moins sujet à perdre la force magnétique. Il faut seulement observer que, pour frot-

ter de grandes barres, on doit en joindre plusieurs paires ensemble, dont le poids soit au moins le double de celui d'une grande. Mais il vaudra toujours mieux aller par degré, et frotter chaque espèce de barres par d'autres qui ne soient pas beaucoup plus petites, ou il suffirait d'en joindre deux paires, quand on est obligé d'en joindre plusieurs paires, les bouts par lesquels on frotte ont trop d'étendue, et la matière magnétique, qui passe par-là, s'empêchera elle-même de se diriger suivant la barre frottée; et d'autant plus, qu'elle entre dans celle qui se trouve perpendiculairement, qu'il faut qu'elle y prenne une direction horizontale.

Pour faciliter ce changement de direction, il est bon que la matière magnétique y soit conduite par un petit espace, et qu'elle ait déja une direction approchante de celle qu'elle doit prendre au dedans de la barre touchée; je crois qu'on réussirait, à cet égard de la manière suivante.

La (*fig.* 8, *Planche IV*), représente cinq paires MM, NN jointes ensemble, mais pas en forme de compas. Il y a en haut une barre de fer doux CD pour entretenir le tourbillon; je ne frotte point en bas immédiatement par les bouts des barres, mais j'enchasse ces bouts de chaque côté dans un pied de fer doux, en les affermissant par quelques vis O. Chaque

pied est courbe en AB, ensorte que la direction de la matière magnétique, qui traverse librement ces pieds, s'approche déja beaucoup de l'horizontale, et que dans la barre frottée EF, elle n'a pas besoin de changer beaucoup de direction. Je ne doute nullement que, par le moyen de ces pieds, la barre EF ne reçoive une beaucoup plus grande force magnétique, que si on la frottait immédiatement par les bouts des barres, dont la grosseur de la direction verticale s'opposent naturellement à la formation des canaux magnétiques dans la barre EF: aussi peut-on, en suivant cette méthode, approcher ou éloigner les extrêmités des pieds A et B à volonté.

Je dois encore faire observer que, lorsque ces barres perdent avec le tems de leur force magnétique, on les rétablit aisément par les mêmes opérations.

le 1 Décembre 1761.

LETTRE CLXXXVI.

Quand on veut faire des expériences sur les propriétés de l'aimant, il faut être pourvu d'un grand nombre de barres magnétiques, depuis les plus petites jusques aux plus grandes : chacune peut être regardée comme un aimant particulier, ayant ses deux poles, l'un boréal et l'autre méridional.

V. A. a dû trouver très-remarquable que, moyennant la force magnétique, la plus faible que nous fournisse un misérable aimant naturel, ou quelques pincettes de cheminée, qui ont acquis avec le tems un peu de magnétisme, on soit en état d'augmenter cette force jusqu'à rendre les plus grandes barres d'acier douées du plus haut degré de force magnétique, dont elles soient susceptibles. Il serait superflu d'ajouter que, par cette méthode, on peut faire les meilleurs aiguilles aimantées, non-seulement beaucoup plus grandes que les ordinaires, mais faites d'un acier trempé au plus fort, ce qui les rend plus durables. Je dirai encore quelque chose sur la fabrique des aimans artificiels, qui ont pour la plûpart la figure d'un fer à cheval, comme V. A. en aura vu sûrement.

Ces aimans artificiels rendent, dans toutes les occasions, les mêmes services que les naturels, et nous procurent encore l'avantage d'en avoir de plus forts, en leur donnant une grandeur suffisante. On les fait d'acier bien trempé, et la figure de fer à cheval semble la plus propre à maintenir le tourbillon. Après que l'ouvrier a fait cette pièce, on lui communique la plus grande force magnétique dont elle soit susceptible, par le moyen des barres magnétiques dont j'ai expliqué la construction. On comprend aisément que

plus cet aimant est grand, plus on doit y employer de grandes barres, et c'est pourquoi on doit en être pourvu de toutes sortes.

Pour aimanter un fer à cheval HIG, (*Planche IV*, *fig.* 9), qui doit être d'acier bien trempé, on pose sur la table une paire de barres magnétiques AC et BD, avec leurs supports de fer doux appliqués de deux côtés, mais dont la figure ne représente que l'un FF, l'autre ayant été ôté à mesure qu'on appliquait les pieds du fer à cheval, comme on le voit. Dans cet état, la matière magnétique, qui traverse les barres, fera des efforts pour passer par le fer à cheval, en tournant les jambes du compas convenablement aux poles du fer à cheval; mais vu la dureté de l'acier trempé, elle ne sera pas suffisante pour ranger les pores et s'ouvrir un chemin. Il faut donc employer le même moyen dont on se sert pour aimanter les barres. On prend un compas formé d'une autre paire de barres magnétiques, et on les fait passer de la même manière sur le fer à cheval, de cette manière, on y ouvrira les canaux magnétiques, et la matière subtile des barres, en le traversant, formera le tourbillon de ce fluide. Il faut bien prendre garde, dans cette opération, que les jambes du compas, en passant sur le fer à cheval, ne touchent les bouts A et B

des barres ; ce qui troublerait le courant de la matière magnétique, qui passerait immédiatement des barres dans les jambes du compas, ou, les tourbillons des barres et du compas se dérangeraient mutuellement.

Le fer à cheval acquerra par-là une grande force, étant traversé par un courant magnétique très-puissant ; il ne s'agit plus que de le détacher des barres, sans que ce courant soit dérangé. Si on l'arrachait brusquement, le tourbillon magnétique serait détruit, et l'aimant artificiel en retiendrait très-peu de force.

Les canaux ne se conservant qu'autant que la matière magnétique les traverse, il faut en conclure que les particules qui forment ces canaux, se trouvent dans un état forçé, qui ne se maintient que tant que le tourbillon y agit, et que dès qu'il cesse, ces particules, par leur élasticité, se détourneront de leur situation, et les canaux magnétiques seront interrompus et détruits. C'est ce que nous voyons très-clairement dans le fer doux, dont les pores se rangent promptement, à l'approche d'un tourbillon magnétique, mais ne conservent presque plus de force magnétique dès qu'on l'éloigne; ce qui prouve que les pores du fer sont mobiles, mais doués d'un ressort qui change leur situation, dès que la force cesse. Ce n'est qu'après

bien du tems, que quelques pores se fixent dans la position qui leur a été imprimée par la force magnétique, ce qui arrive sur-tout dans les barres de fer exposées long tems au tourbillon de la terre. L'acier a ses pores bien moins flexibles, et qui se maintiennent mieux dans l'état auquel ils ont été forcés, ils sont pourtant sujets à quelque dérangement, dès que la force cesse d'y agir, mais d'autant moins, que l'acier est plus dûr. C'est pourquoi les aimans artificiels doivent être faits d'acier très-bien trempé ; si on les faisait de fer, ils acquerraient bien d'abord, étant appliqués aux barres magnétiques, une très-grande force ; mais, au moment qu'on les en détacherait, toute la force s'évanouirait. Donc il faut prendre des précautions en détachant des barres les aimans faits d'un acier bien trempé. Pour cet effet, avant que de les en séparer, on pose leur support, fait d'un fer bien mol, selon la ligne MN, (*Planche IV, fig.* 10), en prenant garde qu'elle ne touche point les barres, ce qui gâterait tout et obligerait à recommencer les opérations. Alors une bonne partie de la matière magnétique qui circule dans l'aimant GHI, prendra sa route par le support, et formera un tourbillon à part, qui se conservera après la séparation.

Ensuite on pousse lentement le support

sur les jambes de l'aimant jusqu'aux bouts, comme on voit par la figure, et dans cet état, on les laisse reposer pendant quelque tems, afin que le tourbillon s'affermisse. On charge aussi le support d'un poids P, qu'on peut augmenter tous les jours, bien entendu, que le support doit être ajusté de manière qu'il touche parfaitement les pieds de l'aimant.

le 5 *Décembre* 1761.

LETTRE CLXXXVII.

Je crois à présent que les merveilles de la dioptrique seront un sujet digne de l'attention de V. A; la dioptrique nous fournit deux sortes d'instrumens composés de verres, qui servent à augmenter la force de notre vue, pour découvrir des objets qui échapperaient à ce sens.

Il y a deux cas où notre vue a besoin de secours: le premier, lorsque les objets sont trop éloignés de nous, pour que nous puissions les voir distinctement; tels sont les corps célestes, sur lesquels on a fait les plus importantes découvertes, par le moyen des instrumens de dioptrique. V. A. se souviendra bien, de ce que j'ai eu l'honneur de lui dire sur les satellites de Jupiter, qui nous conduisent

à la découverte de la longitude : ils ne sont visibles que par le secours de bonnes lunettes, et les satellites de Saturne en demandent de plus excellentes encore.

Il y a de plus sur la surface de la terre, des objets fort éloignés, qu'on ne saurait voir et examiner dans leurs détails que par le secours des lunettes qui nous les représentent de la même manière que si nous les voyons de près. Ces lunettes ou instrumens de dioptrique, pour les objets fort éloignés, sont aussi nommés *télescopes* et lunettes d'observation.

L'autre cas où notre vue a besoin de secours, est lorsque les objets, quoiqu'assez proches, sont trop petits pour que nous puissions en distinguer les parties. Si l'on veut, par exemple, découvrir toutes les parties d'une jambe de mouche ou de quelqu'insecte plus petit : s'il s'agit d'examiner les particules de notre propre corps, comme les fibres les plus petites de nos muscles, de nos nerfs, on ne saurait y réussir sans le secours de certains instrumens, qu'on nomme *microscopes*, qui nous représentent les petits objets de la même manière, que s'ils étaient cent et mille fois plus grands.

Voilà donc deux sortes d'instrumens, les télescopes et les microscopes, par lesquelles la dioptrique supplée à la faiblesse de notre vue. Il n'y a que quel-

ques siécles que ces instrumens ont été inventés, et ce n'est que dès lors qu'on a fait les plus importantes découvertes dans l'astronomie, à l'aide des télescopes et des lunettes, et dans la physique à l'aide des microscopes.

Ces effets merveilleux ne sont produits que par la figure qu'on donne à des morceaux de verre, et l'heureuse combinaison de deux ou plusieurs verres qu'on nomme *lentilles*. La dioptrique est la science qui en renferme les principes, et V. A. voudra bien se souvenir qu'elle roule principalement sur la route que tiennent les rayons de la lumière, lorsqu'ils traversent des intermédiaires transparens de différente qualité, lorsqu'ils passent, par exemple, de l'air dans le verre ou dans l'eau, et réciproquement du verre ou de l'eau dans l'air.

Tant que les rayons sont propagés dans le même milieu, comme dans l'air, ils continuent leur chemin; selon des lignes droites L A, L B, L C, L D, (*Planche IV, fig.* 2), tirées du point L, d'où partent ces rayons, et lorsqu'ils rencontrent quelque part, comme en C, un œil, ils y entrent et y dépeignent l'image de l'objet d'où ils sont partis. Dans ce cas, la vision est nommée simple, ou naturelle, et nous représente les objets tels qu'ils sont en effet. La science qui nous explique

que

que les principes de cette vision, est nommée l'*optique*.

Mais lorsque les rayons, avant que d'entrer dans l'œil, sont réfléchis sur une surface bien polie, telle qu'un miroir, la vision n'est plus naturelle; puisqu'ici, nous voyons les objets autrement et dans un autre lieu qu'ils ne sont effectivement. La science qui explique les phénomènes que nous présente cette vision par des rayons réfléchis, est nommée *catoptrique*. Elle nous fournit aussi des instrumens propres à augmenter la portée de notre vue, et V. A. connaît ces sortes d'instrumens qui, par le moyen d'un ou deux miroirs, nous rendent le même service que les lunettes composées de verres. Ce sont ceux qu'on nomme *télescopes*: mais pour les distinguer des lunettes ordinaires qui ne sont composées que de verres, il vaudrait mieux les appeller télescopes catoptriques réfléchissans, ou de réflexion. Ce serait au moins parler plus exactement; car le nom de télescopes a été en usage avant la découverte des instrumens à miroirs, et signifiait alors la même chose que lunette.

Je me propose d'entretenir à présent V. A. uniquement des instrumens dioptriques, dont nous avons deux espèces, les télescopes ou lunettes, et les microscopes. On se sert pour les uns et pour les autres,

de verres formés de différentes manières, dont je vais expliquer les diverses espèces, parmi lesquelles il y en a d'abord trois principales, selon la figure qu'on donne à la surface du verre.

La première est la *plane*, lorsque la surface d'un verre est plane, comme celle d'un miroir ordinaire. Si l'on prend, par exemple, un morceau de miroir, et qu'on ôte le vif-argent attaché à la surface de derrière, on aura un verre dont les deux surfaces seront *planes*, et qui aura par-tout la même épaisseur.

La seconde est la *convexe*; le verre est alors plus élevé dans le milieu que vers les bords.

La troisième est la *concave* : le verre est alors plus enfoncé dans le milieu que vers les bords.

De ces trois différentes figures qu'on peut donner à la surface d'un verre naissent les six espèces de verres de *fig.* 12.

I. Le verre *plano-plane* est celui dont les deux surfaces sont planes.

II. Le verre *plano-convexe* a une surface plane et l'autre convexe.

III. Le verre *plano-concave* a une surface plane et l'autre concave.

IV. Le verre *convexo-convexe* est celui dont les deux surfaces sont convexes.

V. Le verre *convêxo-concave* ou *ménisque* a une surface convexe et l'autre concave.

VI. Le verre *concavo-concave* enfin, a les deux surfaces concaves.

Il est à propos de remarquer que la figure représente les coupes de ces verres ou lentilles.

le 8 Décembre 1761.

LETTRE CLXXXVIII.

Après ce que je viens de dire sur les faces convexes et concaves des lentilles, V. A. comprend aisément qu'il peut y en avoir d'une infinité de façons, puisque la convexité et la concavité peuvent être plus ou moins grandes. Il n'y a qu'une seule espèce de surfaces planes; parce qu'une surface ne peut être plane que d'une seule manière : mais une surface convexe peut être regardée comme faisant partie d'une sphère, et, selon que le rayon ou le diamètre de cette sphère est plus ou moins grand, la convexité sera différente; et comme nous représentons les verres sur le papier par des arcs de cercle, selon que ces cercles sont plus ou moins grands, il en résulte une infinité de verres, tant par rapport à la convexité qu'à la concavité de leurs surfaces.

Pour ce qui est de la manière dont on

forme et polit les verres, on se donne tous les soins possibles pour rendre leur figure exactement circulaire ou sphérique : on se sert pour cela de bassins de métal formés au tour, sur une surface sphérique en dedans et en dehors.

Soit A E B D F C (*Planche IV, fig.* 13), la coupe d'un semblable bassin, qui aura deux faces A E B et C F D, dont chacune peut avoir son rayon à part; quand on frotte un morceau de verre sur la partie concave A E B de ce bassin, il deviendra convexe; mais si on le frotte sur la partie convexe C F D, il deviendra concave. On se sert en premier lieu de sable pour frotter le verre contre le bassin, jusqu'à ce qu'il en ait pris la figure, et ensuite on se sert d'une terre fine pour le dernier poli.

Pour connaître la véritable figure des faces d'une lentille, on n'a qu'à mesurer le rayon de la face du bassin, sur laquelle cette lentille a été formée, car la véritable mesure de la convexité et de la concavité des surfaces, c'est le rayon du cercle ou de la sphère qui leur convient, et dont elles font partie.

Ainsi quand je dis que le rayon de la face convexe A E B (*Planche V, fig.* 1), est de 3 pouces, il faut entendre que A E B est un arc de cercle décrit avec un rayon de 3 pouces, l'autre face A B étant plane.

Pour mettre encore mieux devant les

yeux de V. A. la différence entre les convexités, lorsque leurs rayons sont plus ou moins grands, je placerai ici plusieurs figures de différente convexité, (*voyez Planche V, fig.* 1).

On voit par là que, plus le rayon est petit, plus la surface est courbée, ou différente de la plane; plus au contraire le rayon est grand, plus la surface approche de la plane, ou l'arc de cercle d'une ligne droite. Si je faisais le rayon encore plus grand, on n'y appercevrait enfin presque plus de courbure. A peine la remarque-t-on dans l'arc MN, (*fig.* 2), dont le rayon est de 6 pouces ou d'un demi-pied, et si le rayon était encore dix ou cent fois plus grand, la courbure deviendrait tout-à-fait insensible à la vue.

Il n'en est cependant pas ainsi à l'égard de la dioptrique, et j'aurai l'honneur de faire remarquer à V. A. dans la suite, que quand le rayon serait de cent ou de mille pieds, et que nous ne pourrions pas en remarquer la courbure, son effet ne laisserait pas d'être encore très-sensible. Il faudrait effectivement que le rayon fut infiniment grand, pour que la face devint parfaitement plane: d'où V. A. peut conclure qu'une face plane peut être regardée comme une face convexe, dont le rayon est infiniment grand, ou comme

une concave d'un rayon infiniment grand. C'est dans ce cas que la convexité et la concavité se confondent ensemble ; de sorte que la surface plane est le milieu qui sépare la convexité de la concavité. Mais plus les rayons sont petits, plus les convexités et concavités deviennent sensibles ou grandes, et de-là, on dit réciproquement, qu'une convexité ou concavité est d'autant plus grande que son rayon, qui en est la mesure, est petit.

Quelque grande que soit d'ailleurs la variété qui peut se rencontrer dans les lentilles ou verres, selon que leurs deux surfaces sont planes, convexes, ou concaves ; et ceci encore d'une infinité de manières différentes ; par rapport à l'effet qui en résulte dans la dioptrique, on peut néanmoins les ranger en trois classes principales, que voici.

La première comprend les verres qui sont par-tout également épais ; soit que leurs deux faces soient planes et parallèles entr'elles (*fig.* 3), soit que l'une soit convexe et l'autre concave, mais concentriques ou décrites du même centre (*fig.* 4), de sorte que l'épaisseur reste par-tout la même. Il est à remarquer sur ces verres, qu'ils ne changent rien dans l'apparition des objets que nous voyons par leur moyen. C'est comme s'il n'y avait rien entre nos yeux et les objets ;

aussi ne sont-ils d'aucun usage dans la dioptrique. Ce n'est pas que les rayons qui entrent dans ces verres ne souffrent aucune réfraction, mais parce que la réfraction à l'entrée est parfaitement redressée à la sortie, de sorte que les rayons, après avoir traversé le verre, reprennent la même route qu'ils avaient tenue avant que d'y entrer. Ce sont donc les verres des deux autres classes qui, à cause de leur effet, font l'objet principal de la dioptrique.

La seconde classe de verres renferme ceux qui sont plus épais vers le milieu que vers les bords, (*fig. 5*).

L'effet en est de même, tant que l'excès de l'épaisseur du milieu sur celle des bords a le même rapport avec la grandeur du verre. On nomme pour l'ordinaire tous les verres de cette classe *convexes*, puisque la convexité y domine, quoique d'ailleurs une de leurs faces peut être plane et même concave.

La troisième classe contient les verres qui sont plus épais par les bords que vers le milieu. (*Plan. V*, *fig.* 6), qui tous produisent un semblable effet, dépendant de l'excès d'épaisseur vers les bords sur celle du milieu. Comme la concavité prévaut dans tous ces verres de la troisième classe, on les nomme simplement *concaves*. Il faut bien les distinguer de ceux

de la seconde classe qui sont les convexes.

C'est des verres de ces deux dernières classes que je me propose d'entretenir V. A. dans mes lettres suivantes, en y exposant leurs effets dans la dioptrique.

le 12 *Décembre* 1761.

LETTRE CLXXXIX.

POUR expliquer à V. A. l'effet que produisent les verres convexes et concaves dans l'apparition des objets, il faut distinguer deux cas, l'un où l'objet est très-éloigné du verre, et l'autre où il se trouve plus rapproché.

Mais avant que d'entreprendre cette explication, je dois dire un mot sur ce qu'on nomme l'axe du verre. Comme les deux surfaces sont représentées par des arcs de cercle, on n'a qu'à tirer une ligne droite par les centres des deux cercles ; cette ligne est nommée l'axe du verre. Dans la *fig.* 7, *Planche V*, le centre de l'arc AEB étant en C, et celui de l'arc AFB en D, la ligne droite CD est nommée l'axe du verre AB, et il est aisé de voir que cet axe passe par le milieu. Il en serait de même si les faces des verres étaient con-

caves. Or, si l'une est plane, l'axe y sera perpendiculaire, en passant par le centre de l'autre face.

On peut voir par là que l'axe traverse perpendiculairement les deux faces, et qu'ainsi, un rayon de lumière qui vient dans la direction de l'axe, n'y souffre aucune réfraction, puisque les rayons qui passent d'un milieu dans un autre, ne sont rompus ou réfractés, qu'entant qu'ils n'y entrent pas perpendiculairement.

On peut aussi prouver que tous les autres rayons qui passent par le milieu O du verre, ne souffrent aucune réfraction, ou plutôt qu'ils redeviennent paralleles à eux-mêmes.

Il faut considérer pour en comprendre la raison, que les deux faces du verre sont paralleles entr'elles aux points E et F, car l'angle M E B, que fait le rayon M E, avec l'arc de cercle E B, ou sa tangente en E est parfaitement égal à l'angle P F A, que ce même rayon prolongé F P fait avec l'arc de cercle A F ou sa tangente en F: V. A. se souvient que ces deux angles sont nommés alternes, et qu'il est démontré que, lorsque les angles alternes sont égaux, les lignes droites sont paralleles entr'elles : par conséquent les deux tangentes en E et en F seront paralleles, et il en sera de même que si le rayon M E F P passait par un verre, dont les deux fa-

ces fussent paralleles entr'elles. Or, nous avons vû ci-dessus, que les rayons ne changent point de route en passant par un tel verre.

Après ces remarques, considérons un verre convexe AB, (*fig.* 8), dont l'axe soit la ligne droite OEFP, et supposons qu'il se trouve sur cette ligne à une grande distance du verre un objet ou point lumineux O, qui répand des rayons en tous sens : il y en aura qui passeront par notre verre AB, tels que OM, OE et ON, dont celui du milieu OE ne souffrira aucune réfraction, mais continuera sa route à travers du verre, suivant la direction FJP. Les deux autres rayons OM et ON, en passant vers les bords du verre, y seront rompus, tant en entrant qu'en sortant, de façon qu'ils concourront quelque part en J avec l'axe, et continueront ensuite leur route dans les directions JQ et JR : on peut aussi prouver que tous les rayons qui tombent entre M et N seront rompus, ensorte qu'ils se réunissent avec l'axe au même point J. Donc les rayons qui sans l'interposition du verre, auraient continué leurs routes rectilignes OM et ON, suivront après la réfraction d'autres routes, comme s'ils étaient partis du point J ; et s'il y avait un œil quelque part en P, il en serait affecté comme si le point lumineux était actuel-

lement en J, quoiqu'il n'y ait rien de réel. V. A. n'a qu'à supposer, pour un moment, qu'il y ait en J un objet réel, qui répandant ses rayons, serait également vû d'un œil placé en P, comme il voit à présent l'objet en O par les rayons rompus par le verre; parce qu'il y a en J une image de l'objet O, et que le verre AB y représente l'objet O, ou le transporte presqu'en J; ce n'est donc plus le point O qui est l'objet de la vue, mais plutôt son image représentée en J.

Ce verre produit donc un changement bien considérable : un objet fort éloigné O est transporté subitement en J, d'où l'œil doit sans doute recevoir une impression toute autre que si, ôtant le verre, l'œil voyait immédiatement l'objet O. Que V. A. considere une étoile en O, puisque nous supposons que le point O est extrêmement éloigné, le verre nous représentera en J l'image de cette étoile, mais cette image, qu'on ne saurait toucher, et qui n'a aucune réalité, puisqu'il n'existe rien en J, si ce n'est, que les rayons partis du point O y sont rassemblés par la réfraction du verre. Il ne faut pas s'imaginer non plus, que l'étoile nous paraîtrait de la même manière que si elle existait réellement en J. Comment un corps, plusieurs milliers de fois plus grand que la terre, pourrait-il exister en J? Nos

sens en seraient frappés bien différemment : il faut donc remarquer que ce n'est qu'une image représentée en J, comme celle d'une étoile représentée dans le fonds de l'œil, ou celle que nous voyons dans un miroir, dont l'effet n'a rien de surprenant.

le 15 *Décembre* 1761.

LETTRE CXC.

Je destine cette lettre à exposer à V. A. quel effet produisent les verres convexes, ou ceux qui sont plus épais par le milieu que vers les bords. Tout consiste à déterminer le changement que les rayons souffrent dans leur route, lorsqu'ils passent par un tel verre. Pour mettre cette recherche dans tout son jour, il faut bien distinguer deux cas, l'un où l'objet est fort éloigné du verre, et l'autre où il en est assez près. Je considérerai donc d'abord le premier cas, où l'objet est extrêmement éloigné du verre.

Dans la *fig.* 9, *Planche V*, MN est le verre convexe, et la ligne droite OABJS son axe, qui passe perpendiculairement par le milieu ; remarquons en passant, que cette propriété de l'axe de chaque verre de passer perpendiculairement par

son milieu, nous en donne l'idée la plus juste qu'on puisse s'en former. Concevons maintenant que sur cet axe se trouve quelque part en O, un objet O P que je représente ici comme une ligne droite, quelque figure qu'il puisse avoir; et comme chaque point de cet objet lance ses rayons en tous sens, il ne s'agit ici que de ceux qui tombent sur le verre.

Je bornerai donc mes réflexions sur ceux qui proviennent du point O, situé dans l'axe même du verre. La figure nous représente trois de ces rayons, O A, O M et O N, dont le premier O A, passant par le milieu du verre, ne souffre aucun changement dans sa route qu'il continue, après avoir traversé le verre selon la première direction B J S, c'est-à-dire, dans l'axe du verre; mais les deux autres rayons O M et O N souffrent une réfraction, tant en entrant qu'en sortant du verre, par laquelle ils sont détournés de leur première route; de façon qu'ils se réunissent quelque part en J avec l'axe, d'où ils continueront leurs nouvelles routes dans les lignes droites M J Q et N J R; de sorte que dans la suite, lorsqu'ils rencontreront un œil, ils y produiront le même effet que si le point O existait en J, puisqu'ils tiennent la même route. C'est pourquoi l'on dit que le verre convexe transporte l'objet de O en J, mais pour

distinguer ce point J du vrai point O, on nomme celui-là l'image de celui-ci, qui à son tour est nommé l'objet.

Ce point J est très-remarquable, et lorsque l'objet O est extrêmement éloigné, l'image en est aussi nommée le foyer du verre; j'en expliquerai la raison à V. A. Si c'est le soleil qui tient lieu d'objet en O, les rayons qui tombent sur le verre sont tous réunis dans le lieu J, et comme ils sont doués de la qualité d'échauffer, il est naturel que la réunion de tant de rayons en J, produise un degré de chaleur capable de brûler les choses combustibles qu'on y met. Or, le lieu où tant de chaleur est réunie se nomme *foyer*; la raison de cette dénomination à l'égard des verres convexes est évidente. C'est pourquoi, un verre convexe est aussi nommé *verre ardent*, ses effets sont sûrement bien connus à V. A. Je remarque seulement que cette propriété de réunir les rayons du soleil, dans un certain point qu'on nomme leur foyer, convient à tous les verres convexes; ils réunissent aussi les rayons de la lune, des étoiles et de tous les corps fort éloignés; quoique leur force soit trop petite pour produire quelque chaleur, on se sert pourtant du même nom de foyer : ainsi le foyer d'un verre n'est autre chose que le lieu où l'image des objets fort éloignés est représentée :

à quoi, il faut encore ajouter cette condition, que l'objet soit situé dans l'axe même du verre ; car s'il était hors de l'axe, son image serait aussi représentée hors de l'axe, j'aurai occasion d'en parler dans la suite.

Au reste, il est bon d'ajouter encore les remarques suivantes sur le foyer.

1. Comme le point O, ou l'objet, est infiniment éloigné, les rayons O M, O A et O N peuvent être considérés comme paralleles entr'eux, et par la même raison paralleles à l'axe du verre.

2. Le foyer J est donc le point derrière le verre, où les rayons paralleles à l'axe, qui tombent sur le verre, sont réunis par la réfraction du verre.

3. Le foyer d'un verre, et le lieu où l'image d'un objet infiniment éloigné et situé dans l'axe du verre est représentée, sont la même chose.

4. L'éloignement du point J derrière le verre, et la distance B J, est nommée la distance du foyer du verre. Quelques auteurs la nomme aussi la distance focale.

5. Chaque verre convexe a sa distance de foyer particulière, l'une plus grande et l'autre plus petite, ce qu'on trouve aisément en exposant le verre au soleil, et observant où les rayons se réunissent.

6. Les verres qui sont formés par des arcs de petits cercles, ont leurs foyers fort

près derrière eux ; mais ceux dont les faces sont des arcs de grands cercles, ont leurs foyers plus éloignés.

7. Il est important de savoir la distance du foyer de chaque verre convexe dont on se sert dans la dioptrique, et il suffit d'en connaître le foyer ; pour juger de tous les effets qu'on en doit attendre, tant dans les lunettes ou télescopes que dans les microscopes.

8. Si l'on se sert de verres également convexes des deux côtés, de sorte que chaque face réponde au même cercle ; alors le rayon de ce cercle donne à-peu-près la distance du foyer de ce verre, ainsi pour faire un ver ardent, qui brûle à la distance d'un pied, on n'a qu'à former les deux faces suivant un cercle dont le rayon est d'un pied.

9. Mais lorsque le verre est plano-convexe, sa distance de foyer est à-peu-près égale au diametre du cercle, qui convient à la face convexe.

L'intelligence de ces termes rendra ce que nous avons encore à dire facile à entendre.

le 19 *Décembre* 1761.

LETTRE

LETTRE CXCI.

Ayant remarqué qu'un objet éloigné à l'infini est représenté par un verre convexe dans son foyer même, pourvu que cet objet se trouve dans l'axe du verre, je passe aux objets plus proches, mais toujours situés dans l'axe du verre, et j'observe d'abord, que plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne.

Ainsi supposons que F (*Plan. V, fig.* 10), soit le foyer du verre M M, de sorte que d'un objet éloigné à l'infini devant le verre ou au haut de la figure, l'image soit représentée en F, en approchant l'objet du verre et le plaçant successivement en P, Q, R, l'image sera représentée au point *p*, *q*, *r*; plus éloignés du verre que le foyer, ou bien si A P est la distance de l'objet, B *p* sera la distance de l'image; et si A Q est la distance de l'objet, B *q* sera celle de l'image, et la distance B *r* de l'image répondra à la distance de l'objet A B.

On a une regle par laquelle on peut aisément calculer la distance de l'image derrière le verre, pour chaque distance de l'objet qui est devant le verre, mais je ne veux pas ennuier V. A. par une exposition séche de cette regle; il suffira de

remarquer en général, que plus on diminue la distance de l'objet devant le verre, plus la distance de l'image derrière le verre devient grande. J'ajouterai outre cela l'exemple d'un verre convexe, dont la distance du foyer est de 6 pouces, ou d'un verre tel, que si la distance de l'objet est infiniment grande, la distance de l'image derrière le verre, soit précisément de 6 pouces, maintenant, si l'on approche l'objet du verre, l'image s'en éloignera comme il est marqué dans cette table.

Distance de l'objet	Distance de l'image
infini	6
42	7
24	8
18	9
15	10
12	12
10	15
9	18
8	24
7	42
6	infini

ainsi l'objet étant éloigné de 42 pouces du verre, l'image tombera à la distance

de 7 pouces, et par conséquent un pouce plus loin que le foyer. Si l'objet se trouve à la distance de 34 pouces, l'image se trouvera à celle de 8 pouces ou deux pouces au-delà du foyer et ainsi de suite.

Quoique ces nombres ne conviennent qu'à un verre dont la distance du foyer serait de 6 pouces, on en peut pourtant tirer quelques conséquences générales.

1. Si la distance de l'objet est infiniment grande, l'image tombe dans le foyer même.

2. Si la distance de l'objet est deux fois plus grande que la distance du foyer, la distance de l'image sera aussi deux fois plus grande que celle du foyer, ou bien l'objet et l'image seront également éloignés du verre. Dans l'exemple rapporté ci-dessus, la distance de l'objet étant 12 pouces, celle de l'image est aussi 12 pouces.

3. Lorsqu'on approche l'objet du verre, de façon que la distance soit précisément égale à celle du foyer, (comme de 6 pouces dans l'exemple ci-dessus) alors l'image s'éloigne à l'infini derrière le verre.

4. Aussi voit-on en général, que la distance de l'objet et celle de l'image se répondent réciproquement; ou si l'on met l'objet à la place de l'image, elle tombera dans le lieu de l'objet.

5. Si donc le verre MM (*Planche V, fig. II.*) rassemble en J les rayons qui émanent du point O, ce même verre y rassemblera aussi les rayons qui émanent du point J.

6. C'est la suite d'un grand principe de la dioptrique, en vertu duquel on soutient que, quelles que soient les refractions que les rayons ont souffert en passant par plusieurs milieux réfringens, ils pourraient toujours retourner sur la même route.

Cette vérité est très-importante dans la connaissance des verres; ainsi quand je sais, par exemple, qu'un verre a représenté, à la distance de 8 pouces, l'image d'un objet éloigné de 24 pouces; je puis hardiment en conclure, que si l'objet était éloigné de 8 pouces, le même verre en représenterait l'image à la distance de 24 pouces.

Il est aussi essentiel de remarquer que, lorsque la distance de l'objet est égale à celle du foyer, l'image s'éloignera subitement à l'infini; ce qui est parfaitement d'accord avec le rapport qui se trouve entre l'objet et l'image.

V. A. sera sans doute curieuse de savoir en quel lieu l'image sera représentée, lorsqu'on approche davantage l'objet du verre et que sa distance devient plus petite que celle du foyer. Cette question est d'autant

plus embarrassante, qu'il faudrait répondre que la distance de l'image devrait être alors plus grande que l'infini, puisque plus l'objet s'approche du verre, plus l'image s'en éloigne. Mais l'image étant déjà éloignée à l'infini, comment est-il possible que sa distance devienne plus grande? Cette question pourrait sans doute embarrasser des philosophes, mais il est fort aisé d'y répondre par les mathématiques. L'image passera d'une distance infinie à l'autre côté du verre, et par conséquent du même où se trouve l'objet. Quelque bizarre que paraisse cette réponse, elle est non-seulement confirmée par le raisonnement, mais par l'expérience, de sorte qu'on ne saurait douter de sa justesse, croître au-delà de l'infini, est la même chose que passer de l'autre côté : ce qui est sans doute un véritable paradoxe.

le 22 Décembre 1761.

LETTRE CXCI.

V. A. ne doit plus douter que chaque verre convexe ne représente quelque part l'image des objets qui lui sont opposés, et que, dans chaque cas, le lieu de l'image varie autant selon l'éloignement de l'ob-

jet, que selon la distance du foyer du verre, mais il me reste à expliquer encore un article bien important, concernant la grandeur de l'image.

Lorsqu'un tel verre nous représente l'image du soleil, de la lune, ou d'une étoile à la distance d'un pied, V. A. s'imagine bien que ces images doivent être incomparablement plus petites que les objets mêmes. Une étoile étant beaucoup plus grande que toute la terre, comment serait-il possible qu'une aussi grande image nous fut représentée à la distance d'un pied? Mais l'étoile ne nous paraissant que comme un point, l'image représentée par le verre ressemble aussi à un point, et, par conséquent, est infiniment plus petite que l'objet même.

Il y a donc dans chaque représentation faite par les verres, deux choses à considérer, l'une regarde le lieu où l'image est représentée, et l'autre, la véritable grandeur de l'image, qui peut être très-différente de celle de l'objet. La première étant suffisamment éclaircie, je vais exposer à V. A. une regle très-simple, qui lui fera juger aisément, dans chaque cas, de quelle grandeur doit être l'image représentée par le verre.

Soit O P (*Planche VI, fig.* 1), un objet quelconque, situé sur l'axe du verre convexe MN, il faut d'abord chercher le

lieu de l'image, de sorte que le point J soit la représentation du bout O de l'objet, puisque les rayons émanés du point O, y sont réunis par la réfraction du verre. Voyons maintenant en quel lieu sera représentée l'image de l'autre point P de l'objet; pour cet effet, considérons les rayons PM, PA, PN, qui partant du point P, tombent sur le verre; j'observe que le rayon PA, qui passe par le milieu du verre ne change point de direction, mais continue sa route AKS: ce sera donc quelque part sur cette ligne en K, où les autres rayons PM et PN se réunissent: ou bien le point K sera l'image de l'autre bout P de l'objet, le point J étant celle du point O: il est aisé d'en conclure, que JK sera l'image de l'objet OP, représentée par le verre.

Donc pour déterminer la grandeur de cette image, ayant trouvé le lieu J, il ne faut que tirer du bout P de l'objet, par le milieu du verre A, la ligne droite PAKS et poser en J perpendiculairement à l'axe, la ligne JK, et celle-ci sera l'image en question; il est évident par-là que l'image est renversée, de sorte que si la ligne OR était horizontale et l'objet OP un homme, l'image aurait la tête K en bas et les pieds en haut en J.

J'ajouterai là-dessus les remarques suivantes.

1. Plus l'image (*Plan. VI*, *fig.* 2), est proche du verre, plus elle est petite : et plus elle en est éloignée, plus elle est grande. Ainsi O P étant l'objet placé sur l'axe devant le verre MN, si l'image tombait en Q, elle serait plus petite que si elle tombait en R, S ou T. Car puisque la ligne droite P A *t*, tirée du sommet de l'objet P par le milieu du verre, termine toujours l'image à quelque distance qu'elle s'en trouve, il est évident que, parmi les lignes Q *q*, R *r*, S *s*, T *t*, la première Q *q* est la plus petite, et que les autres croissent à mesure qu'elles s'éloignent du verre.

2. Il y a un cas où l'image est précisément égale à l'objet : c'est lorsque la distance de l'image est égale à celle de l'objet, ce qui arrive, comme j'ai déja remarqué, quand la distance de l'objet A O est double de celle du foyer du verre ; l'image sera alors T t, ensorte que la distance B t est égale à A Q. V. A. n'a donc qu'à considérer les deux triangles O A P et T A *t*, qui ayant tant les angles opposés par la pointe en A, que les côtés A O et A t égaux entr'eux ; et de plus, les angles en O et T, qui sont droits ; ces deux triangles sont égaux entr'eux et ainsi le côté T *t*, qui est l'image, est égal au côté O P, qui est l'objet.

3. Si l'image était deux fois plus éloignée du verre que l'objet, elle serait dou-

V. II

ble de l'objet ; et en général, autant de fois que l'image est éloignée du verre que l'objet, elle sera plus grande. Or, plus on approche l'objet du verre, plus l'image s'en éloigne ; et devient par conséquent plus grande.

4. Il arrive le contraire lorsque l'image est plus proche du verre que l'objet ; elle est alors autant de fois plus petite que l'objet, qu'elle est plus proche du verre que lui. Si donc la distance de l'image était 1000 fois plus petite que celle de l'objet, elle serait aussi mille fois plus petite.

5. Appliquons cela aux verres ardens qui, exposés au soleil, représentent son image dans le foyer, ou plutôt le foyer, c'est-à-dire, ce cercle lumineux et brillant qui brûle ; et qui n'est autre chose que l'image du soleil représentée par le verre. V. A. ne sera donc plus surprise de la petitesse de l'image, quoique le soleil soit si excessivement grand, puisqu'elle est autant de fois plus petite que le véritable soleil dans le foyer, que la distance du soleil est plus grande que celle de l'image au verre.

6. Il est donc clair, que plus la distance du foyer d'un verre ardent est grande, plus le cercle est brillant dans le foyer, c'est-à-dire, plus l'image du soleil est grande : et le diamètre du foyer

est toujours environ 100 fois plus petit que la distance du foyer au verre.

J'aurai dans la suite l'honneur de parler à V. A. de différens usages qu'on fait des verres convexes, et je crois ce détail digne de son attention.

le 26 Décembre 1761.

LETTRE CXCIII.

Le premier usage des verres convexes est celui des verres ardens, dont l'effet doit paraître tout-à-fait surprenant à ceux mêmes qui ont déja quelque teinture de la physique. En effet, qui croirait que la simple image du soleil soit capable d'exciter un degré si prodigieux de chaleur? Mais V. A. n'en sera plus surprise, si elle daigne faire quelqu'attention aux réflexions suivantes.

1. Soit MN, (*Planc. VI, fig.* 3), un verre ardent, qui reçoit sur sa surface les rayons du soleil R, R, R, rompus de façon qu'ils présentent en F un petit cercle lumineux, qui est l'image du soleil, et d'autant plus petit qu'il est plus près du verre.

2. Tous les rayons du soleil, qui tombent sur la surface du verre, sont réunis dans le petit espace du foyer F, ainsi leur

effet doit y être autant de fois plus grand, que la surface du verre surpasse la grandeur du foyer ou de l'image du soleil. On dit que les rayons qui étaient dispersés par toute la surface du verre, sont concentrés dans le petit espace F.

3. Les rayons du soleil ayant un certain degré de chaleur, ils exercent ce pouvoir dans le foyer à un degré fort sensible; on peut même estimer combien de fois ce degré doit surpasser la chaleur naturelle des rayons du soleil : il ne faut que voir combien de fois la surface du verre est plus grande que le foyer.

4. Si le verre n'était pas plus grand que le foyer, la chaleur n'y serait pas plus forte qu'ailleurs; il faut en conclure, que pour qu'un verre ardent produise un grand effet, il ne suffit pas qu'il soit convexe ou qu'il représente l'image du soleil; il faut encore qu'il ait une surface qui surpasse plusieurs fois la grandeur du foyer, qui est d'autant plus p[illegible], qu'il est proche du verre.

5. La France possede le plus excellent verre ardent; sa largeur est de 3 pieds, et on estime sa surface près de 2000 fois plus grande que le foyer ou l'image du soleil qu'il représente. Il faut donc qu'il produise dans le foyer une chaleur 2000 fois plus grande que celle que nous ressentons du soleil. Aussi ces effets sont

ils prodigieux : au premier instant tout bois est enflammé, les métaux sont fondus en peu de minutes ; et, en général, le feu le plus ardent qu'on puisse produire, n'est pas à comparer avec la véhémence du foyer de ce verre.

6. On estime la chaleur de l'eau bouillante environ trois fois plus grande que celle que nous éprouvons des rayons du soleil pendant l'été, ou ce qui revient au même, la chaleur de l'eau bouillante est trois fois plus grande que la chaleur naturelle du sang dans le corps humain. Mais pour fondre du plomb, il faut une chaleur trois fois plus grande que pour faire bouillir de l'eau, et pour fondre du cuivre, il la faut trois fois plus grande encore. L'or en exige un bien plus haut degré ; une chaleur 100 fois plus grande que celle de notre sang est donc capable de fondre l'or, combien donc une chaleur 2000 fois plus grande, ne doit-elle pas surpasser la force de nos feux ordinaires ?

7. Mais comment les rayons du soleil, réunis dans le foyer d'un verre ardent, y produisent-ils ces effets prodigieux ? C'est une question bien difficile, sur laquelle les philosophes sont fort partagés. Ceux qui soutiennent que les rayons sont une émanation du soleil, lancée avec la grande vîtesse dont j'ai eu l'honneur de

parler à V. A., ne sont pas en peine là-dessus, ils n'ont qu'à dire que la matière des rayons, frappant les corps avec violence, doit en briser et détruire tout-à-fait les moindres particules. Mais ce sentiment ne peut plus avoir lieu dans la saine physique.

8. L'autre système qui met la nature de la lumière dans l'ébranlement de l'éther, paraît peu propre à expliquer ces effets surprenans des verres ardens. En pesant bientôt cependant toutes les circonstances, on sera bien convaincu de la possibilité. Les rayons naturels du soleil excitent, en tombant sur un corps, les moindres particules de sa surface à un ébranlement, ou mouvement de vibration, qui à son tour est capable d'exciter de nouveaux rayons, qui nous rendent ce même corps visible. Et un corps n'est éclairé, qu'autant que ces propres particules sont mises dans un mouvement de vibration si rapide, qu'il soit capable de produire de nouveaux rayons dans l'éther.

9. Il est donc clair, que si les rayons naturels du soleil ont assez de force pour ébranler les moindres particules des corps, ceux qui sont rassemblés dans le foyer, doivent mettre les particules qu'ils y rencontrent dans une agitation si violente, que leur liaison mutuelle soit tout-à-fait rompue, et le corps même entièrement

détruit ; ce qui est l'effet du feu. Car si le corps est combustible comme le bois, la dissolution de ces moindres particules, jointe à la plus rapide agitation, en chasse une bonne partie dans l'air, en forme de fumée ; et les parties plus grossières restent sous la forme de cendres. Les corps fusibles, comme les métaux, deviennent liquides par la dissolution de leurs particules, d'où l'on peut comprendre, comment le feu agit sur les corps ; ce n'est que la liaison entre leurs plus petites particules qui est attaquée, et les particules mêmes y sont ensuite mises dans la plus grande agitation. Voilà donc un effet bien frappant des verres ardens, qui tire son origine de la nature des verres convexes. J'aurai l'honneur d'en rapporter encore d'autres merveilles à V. A.

le 28 Décembre 1761.

LETTRE CXCIV.

On fait encore usage des verres convexes dans les chambres obscures, et par leur moyen, tous les objets de dehors sont présentés dans la chambre sur une surface blanche, avec leurs couleurs naturelles, de manière que les paysages, ou

les places, y sont représentés dans une plus grande perfection, que ne pourrait le faire un peintre. Aussi les peintres se servent-ils de ce moyen pour dessiner avec exactitude les paysages et autres objets qu'on voit dans l'éloignement. C'est de ces chambres obscures que je me propose d'entretenir V. A.

EFGH, (*Plan. VI*, *fig.* 4) représente la coupe d'une chambre obscure, bien fermée de toutes parts, à l'exception d'un trou rond fait dans un volet, où l'on fixe un verre convexe d'un foyer tel, que l'image des objets de dehors, comme, par exemple, de l'arbre O P, tombe exactement sur la muraille opposée F G en *o p*. On se sert aussi d'une table blanche et mobile qu'on met dans le lieu des images représentées.

Ce n'est donc qu'à travers ce trou MN, où est placé le verre, que les rayons de lumière peuvent entrer dans la chambre, sans quoi il y régnerait une obscurité parfaite.

Considérons maintenant le point P de quelqu'objet, la tige, par exemple de notre arbre O P. Ses rayons P M, P A, P N tomberont donc sur le verre M N et en seront réfractés; ensorte qu'ils se réuniront de nouveau au point *p* sur la muraille, ou sur une table blanche mise dans cet endroit. Ce point *p* ne recevra par con-

séquent d'autres rayons que ceux qui viennent du point P, de même que tout autre point de la table ne recevra que les rayons qui sont partis du point de l'objet qui y répond; et réciproquement, à chaque point de l'objet du dehors, répondra un point sur la table qui en reçoit uniquement les rayons. Si l'on ôtait le verre du trou MN, la table serait tout autrement éclairée, puisqu'alors chaque point de l'objet répandrait ses rayons par toute la table, de sorte que chaque point de la table serait éclairé à la fois par tous les objets du dehors, au lieu qu'actuellement il ne l'est que par un seul.

Voyons de plus près en quoi consiste cette différence, et supposons d'abord que le point P de l'objet soit verd, le point *p* de la table ne recevra donc que ces rayons verds de l'objet P, qui en se réunissant, feront une certaine impression qu'il s'agit d'examiner ici. Pour cet effet, V. A. voudra bien se souvenir des propositions suivantes, que j'ai eu l'honneur de lui expliquer autrefois.

1. Les couleurs diffèrent entr'elles de la même manière que les tons de la musique: chaque couleur est produite par un nombre déterminé de vibrations qui, dans un tems donné, sont excitées dans l'éther. Ainsi la couleur verte de notre point P est appropriée à un certain nombre de vibrations,

vibrations, et ne serait plus verte si ces vibrations étaient plus ou moins rapides. Quoique nous ne connaissions pas le nombre des vibrations qui produisent telle ou telle couleur, il nous sera toujours permis de supposer ici que la couleur verte exige 12000 vibrations par seconde, et ce que nous dirons de ce nombre de 12000 s'entendra aussi aisément du nombre véritable quel qu'il soit.

2. Cela posé, le point *p* sur la table blanche sera frappé par un mouvement de vibration, dont 12000 s'achevent dans une seconde. Or, j'ai remarqué que les particules d'une surface blanche sont toutes de nature à recevoir toutes sortes d'ébranlemens, plus ou moins rapides, au lieu que celles d'une surface colorée ne sont propres qu'à recevoir le degré de rapidité qui convient à leur couleur. Et puisque notre table est blanche, le point *p* y sera excité à un mouvement de vibration convenable à la couleur verte: ou bien il sera agité 12000 fois par seconde.

3. Tant que le point *p*, ou la particule de la surface blanche qui s'y trouve, est agitée d'un semblable mouvement, elle le communique aux particules de l'éther qui l'environnent; et ce mouvement se répandant en tout sens, engendre des rayons de la même nature, c'est-à-dire,

verds : ainsi que dans les sons, le seul bruit d'un certain son C, par exemple, ébranle une corde tendue au même ton, et lui fait rendre un son sans qu'elle soit touchée.

4. Le point *p* de la table blanche produira donc des rayons verds, comme s'il était teint de cette couleur : et ce que je dis du point *p*, aura lieu également pour tous les autres points de la table éclairée, qui produiront tous les rayons, chacun de la même couleur que l'objet dont il représente l'image. Chaque point de la table deviendra donc visible sous une certaine couleur, comme si elle en était effectivement teinte.

On appercevra donc sur la table toutes les couleurs des objets du dehors, dont les rayons entreront dans la chambre par le verre : chaque point en particulier paraîtra de la couleur de l'objet qui lui répond, et l'on verra sur la table un amas de plusieurs couleurs, disposées dans le même ordre qu'on le voit sur les objets mêmes, c'est-à-dire, une peinture, ou plutôt le tableau parfait de tous les objets qui se trouvent hors de la chambre obscure devant le verre NN.

6. Tous ces objets paraîtront cependant renversés, comme V. A. le jugera de ce que j'ai dit dans mes lettres précédentes. Le pied de l'arbre O sera représenté en *o*,

et la tige P en p : car, en général, chaque objet doit être représenté sur la table blanche, dans l'endroit où parvient la ligne droite tirée de l'objet P par le milieu du verre A ; ce qui est en haut sera, par conséquent, représenté en bas, et ce qui est à gauche sera à la droite ; en un mot, tout sera renversé sur le tableau ; cependant la représentation sera plus éxacte et plus parfaite que ne pourrait la rendre le plus habile peintre.

7. V. A. remarquera, au reste, que cette peinture sera plus petite que les objets mêmes, d'autant que le foyer du verre sera plus court. Ainsi les verres d'un foyer court rendront les objets en petit ; et si l'on souhaite qu'ils soient rendus en grand, il faut employer des verres d'un foyer plus long, ou qui représentent les images à une plus grande distance.

8. Pour contempler plus à son aise ces représentations, on intercepte les rayons par un miroir, d'où ils sont réfractés, ensorte qu'ils représentent toute la peinture sur une table horizontale ; ce qui est d'une grande commodité lorsqu'on veut copier ce qu'on y voit représenté.

le 2 Janvier 1762.

LETTRE CXCV.

Quoique V. A. n'ait plus aucun doute sur les représentations qui se font dans une chambre obscure par le moyen d'un verre convexe, j'espère que les réflexions suivantes ne seront point superflues, et serviront à mettre cette matière dans un plus grand jour.

1. Il faut que la chambre soit parfaitement obscure, car si elle était éclairée, la table blanche serait visible, et les particules de sa surface déja ébranlées, ne pourraient plus recevoir l'impression des rayons qui se réuniraient pour former les images des objets qui sont hors de la chambre. Cependant, pourvu que la chambre soit peu éclairée, on appercevra toujours sur la table quelque chose de la représentation, quoiqu'elle ne soit pas si vive que si la chambre était entièrement obscure.

2. En second lieu, il faut bien distinguer la peinture exprimée sur la table blanche, de l'image que le verre représente par sa propre nature, comme je l'ai exposé ci-dessus. Il est bien vrai que plaçant la table dans le lieu même où l'image des objets est formée par le verre, cette image se confondra avec la peinture qu'on apperçoit sur la table, mais toutefois ces deux choses sont d'une nature tout-à-fait différente : l'image n'est qu'un

spectre ou un ombre voltigeant dans l'air, qui nest visible qu'en certains endroits, tandis que la représentation est un vrai tableau, que tous ceux qui sont dans la chambre peuvent voir, et auquel il ne manque que la durée.

3. Pour eclaircir mieux cette différence, on n'a qu'à bien considérer la nature de l'image *o*, (*Planche VI, fig.* 5), représentée par le verre convexe MN, l'objet étant en O. Cette image n'est autre chose que le lieu où les rayons OM, OC, ON de l'objet, après avoir traversé le verre, se réunissent par la réfraction, et continuent ensuite leur route comme s'ils venaient du point *o*, quoiqu'ils prennent naissance en O, et point du tout en *o*.

4. Cette circonstance fait que l'image *o* n'est visible qu'aux yeux qui se trouvent quelque part, entre l'angle R *o* Q, comme en S, où un œil recevra effectivement des rayons qui lui viennent du point *o*. Mais un œil placé hors de cet angle, comme en F ou en V, n'en verra rien du tout, puisqu'aucun des rayons réunis en *o* n'y est dirigé : ainsi l'image en *o* diffère bien essentiellement d'un objet réel, et n'est visible qu'en certains endroits.

5. Mais si l'on place en *o* une table blanche, et que sa surface en ce point *o* soit réellement excitée à un ébranlement semblable à celui qui regne dans l'objet

O, cet endroit *o* de la surface engendre lui-même des rayons qui le rendent visible par-tout. Voilà donc la différence entre l'image d'un objet, et sa représentaion faite dans une chambre obscure : l'image n'est visible qu'en certains endroits, savoir : dans ceux par où passent les rayons qui viennent originairement de l'objet ; au lieu que la peinture ou la représentation formée sur la table blanche, est vue par ses propres rayons excités par le trémoussement des particules de sa surface, et par conséquent, partout dans la chambre obscure.

6. On voit aussi qu'il faut absolument mettre la table blanche exactement dans le lieu de l'image formée par le verre, afin que chaque point de la table ne reçoive d'autres rayons que ceux qui viennent d'un seul point de l'objet : car si d'autres rayons y tombaient aussi, ils troubleraient l'effet de ceux-là, ou rendraient la représentation confuse.

7. Si l'on ôtait le verre tout-à-fait, et que les rayons trouvassent une entrée libre dans la chambre obscure, la table blanche en serait éclairée sans qu'on y vît aucune peinture : les rayons des différens objets tomberaient sur chaque point de la table et n'y exprimeraient aucune image déterminée. Ainsi la peinture qu'on voit dans une chambre obscure, sur une

surface blanche, est l'effet du verre convexe fixé au volet; c'est lui qui réunit de nouveau dans un seul point, tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet.

8. On observe cependant ici un phénomène bien singulier, lorsque le trou fait au volet de la chambre obscure est très-petit : quoiqu'il n'y ait point alors de verre, on apperçoit cependant sur la muraille opposée, les images des objets qui sont en dehors, et même avec leurs couleurs naturelles : mais la représentation est très-faible et confuse, et dès qu'on élargit le trou, ce spectacle disparaît entièrement. Je vais expliquer la cause de ce phénomène.

Dans la *fig.* 6, *Plan. VI*, MN est la petite ouverture par laquelle les rayons des objets du dehors entrent dans la chambre obscure EFGH. La muraille FH vis-à-vis du trou est blanche, pour mieux recevoir l'impression de toutes sortes de rayons.

Que le point O marque un objet, dont il n'y a que les rayons OM, ON avec ceux qui se trouvent entr'eux, qui peuvent entrer dans la chambre, ces rayons tomberont sur le petit espace *oo* de la muraille et l'éclaireront : cet espace *oo* sera d'autant plus petit, ou approchera d'autant plus d'un point, que le trou MN sera petit : si donc ce trou étoit très-petit,

nous aurions l'effet précédent, où chaque point de la table blanche ne reçoit que les rayons d'un seul point de l'objet: il s'y ferait par conséquent une représentation semblable à celle que produit le verre convexe placé dans le trou du volet. Mais dans ce cas-ci, l'ouverture ayant un certaine étendue, chaque point O de l'objet éclairera un certain petit espace *o o* sur la muraille et l'ébranlera par ses rayons. Il arrivera donc à-peu-près la même chose, que si un peintre, au lieu de faire des points sur le tableau, y faisait avec un gros pinceau des taches d'une certaine grandeur, en observant toutefois le dessein et le coloris: ce sera à un pareil barbouillage que ressemblera notre représentation faite sur la muraille; cependant elle sera d'autant plus nette, que le trou par lequel les rayons entreront sera petit.

le 5 *Janvier* 1762.

LETTRE CXCVI.

LA chambre obscure n'a proprement d'effet que sur des objets fort éloignés, mais V. A. sent bien, que son usage s'étend aussi à des objets plus voisins; il faut

alors éloigner davantage du verre a la table blanche, conformément à cette regle générale, que plus on approche l'objet du verre convexe, plus l'image, ou la table blanche doit être placée, s'en éloigne; et si la chambre n'est pas assez profonde, il faut prendre un verre dont le foyer soit plus court.

On pourrait donc placer hors de la chambre, devant le trou où est le verre convexe, un objet quelconque ou un tableau, et on en verrait une copie sur la table blanche dans la chambre obscure, plus grande que l'original, ou plus petite, selon que la distance de l'image seroit plus ou moins grande: mais il serait plus commode que l'objet put être exposé dans la chambre obscure même, afin que l'on put le manier et le changer comme on le jugerait à propos. Il se présente une grande difficulté à résoudre; l'objet deviendrait obscur lui-même, et par conséquent, incapable de produire l'effet que nous souhaiterions.

Il s'agit donc d'éclairer l'objet le plus qu'on pourra dans la chambre obscure même, sans que la lumière puisse pénétrer dans la chambre. J'en ai trouvé le moyen; V. A. se souviendra que je l'ai exécuté dans une machine de cette nature, que j'ai eu l'honneur de lui présenter il y a six ans: et V. A. comprendra bientôt

la construction et les principes sur lesquels elle est fondée.

Cette machine consiste dans une caisse bien fermée de tous côtés, à-peu-près semblable à la *fig.* 7, *Plan. VII*, où le côté de derrière E G a une ouverture I K, pour y enchasser les objets, portraits ou autres peintures O P qu'on veut représenter ; de l'autre côté, vis-à-vis, est un tuyau M N Q R, contenant un verre convexe M N ; ce tuyau est mobile, pour pouvoir approcher le verre de l'objet ou l'en éloigner comme on voudra. Alors, pourvu que l'objet O P soit bien éclairé, le verre en jettera quelque part l'image *op*, et si l'on y place une table blanche, on y verra une copie parfaite de l'objet, d'autant plus claire que l'objet lui-même sera plus éclairé.

Pour cet effet, j'ai pratiqué dans cette caisse deux aîles à côté, pour y placer quelques lampes à grosses mêches, et mis dans chaque aîle un miroir qui réfléchit la lumière des lampes sur les objets O P ; au-dessus, en E F est une cheminée par où sort la fumée des lampes. Telle est la construction de cette machine, au dedans de laquelle l'objet O P peut recevoir une très-forte illumination, sans que l'obscurité de la chambre en soit diminuée. Pour l'usage de cette machine, il faut remarquer les articles suivans :

I. Si l'on enfonce le tuyau MNQR, ou qu'on approche le verre MN de l'objet OP, l'image *op* s'éloignera, il faut donc reculer la table blanche pour y recevoir l'image, qui en deviendra plus grande, et même on peut la grossir autant qu'on veut, en approchant davantage le verre MN de l'objet OP.

II. En éloignant le verre de l'objet, la distance de l'image diminuera, il faut alors approcher la table blanche du verre pour avoir une représentation nette et distincte, mais elle sera plus petite.

III. Il est clair que l'image sera toujours renversée, mais il est aisé de remédier à cet inconvénient, il ne faut que renverser l'objet OP même, en tournant le haut en bas, et l'image sera représentée debout sur la table blanche.

IV. C'est encore une remarque générale, que plus on grossit l'image sur la table blanche, moins elle aura de lumière et sera plus obscure : mais si l'on fait l'image petite, elle devient plus lumineuse et plus brillante. La raison en est évidente, toute la clarté provient de l'illumination de l'objet ; plus elle est répandue dans un grand espace, plus elle doit être affaiblie, et plus elle est resserrée, plus elle est brillante.

V. Ainsi, plus on veut grossir la représentation, plus on doit renforcer l'illu-

mination de l'objet, en augmentant la lueur des lampes dans les aîles de la machine ; une illumination médiocre suffit.

La machine dont je viens de donner la description, est nommée *Lanterne magique*, pour la distinguer d'une chambre obscure ordinaire, dont on se sert pour représenter les objets éloignés : la figure a sans-doute occasionné le nom de lanterne, sur-tout parce qu'on y enferme des lumières ; mais l'épithete de *magique* vient de ce que les premiers possesseurs ont voulu persuader au peuple qu'il y avait de la magie ou du sortilege. Cependant les lanternes magiques ordinaires ne sont point construites de cette façon, et ne servent à représenter d'autres objets que des figures peintes sur le verre, au lieu que cette machine-ci peut être appliquée à toutes sortes d'objets.

On peut même s'en servir pour représenter les plus petits objets, et les grossir prodigieusement, de sorte que la plus petite mouche paraîtra aussi grande qu'un éléphant : mais alors la clarté des lampes ne suffit pas ; il faut disposer la machine de manière que les objets puissent être éclairés par les rayons du soleil renforcés par un verre ardent : la machine change alors de nom, et s'appelle *microscope*

solaire; j'aurai occasion d'en parler plus amplement dans la suite.

le 8 *Janvier* 1762.

LETTRE CXCVII.

On se sert aussi des verres convexes pour regarder immédiatement à travers : mais pour en expliquer les différens usages, il faut pousser plus loin nos recherches sur la nature.

Ayant observé la distance du foyer d'un tel verre, j'ai déja remarqué que, lorsque l'objet en est fort éloigné, son image est représentée dans le foyer même, mais qu'en approchant l'objet du verre, l'image s'en éloigne de plus-en-plus, de sorte que si la distance de l'objet est égale à celle du foyer du verre, l'image s'en éloigne à l'infini, et devient par conséquent infiniment grande.

C'est parce que les rayons O*m*, O*m*, (*Plan. VI*, *fig.* 7) qui viennent du point O sont rompus par le verre, ensorte qu'ils deviennent paralleles entr'eux comme NF et NF, et comme les lignes paralleles sont censées courir à l'infini, et que l'image est toujours où les rayons, qui sont sortis

d'un point de l'objet, se réunissent de nouveau après la réfraction; dans le cas où la distance de l'objet O A est égale à celle du foyer du verre, le lieu de l'image s'éloigne à l'infini, et puisqu'il est indifférent qu'on conçoive que les lignes paralleles NF et NF concourent à l'infini vers la gauche, ou qu'elles concourent vers la droite, on peut dire également que l'image se trouve tant à droite qu'à gauche, dans un éloignement infini, l'effet en étant toujours le même.

Cela remarqué, V. A. jugera facilement en quel lieu l'image doit se trouver, lorsqu'on approche davantage l'objet du verre.

Soit OP, (*Plan. VI, fig.* 8) l'objet, et puisque sa distance OA du verre convexe est moindre que sa distance de foyer, les rayons O *m*, O *m*, qui y tombent du point O, sont trop divergens, pour que la force réfractive du verre puisse les rendre paralleles entr'eux: ils seront donc encore divergens après la réfraction, comme le marquent les lignes N F, N F, mais beaucoup moins qu'auparavant, ainsi en prolongeant ces lignes en arrière, elles concourront quelque part en *o*, comme V. A. peut le voir dans les lignes ponctuées N *o*, N *o*. Par conséquent les rayons N F, N F, après avoir passé par le verre, tiennent la même route que s'ils venaient du point *o*, quoiqu'ils n'ayent pas passé

par ce point, puisque ce n'est que dans le verre qu'ils ont pris cette nouvelle route. Un œil qui reçoit ces rayons réfractés N F, N F sera donc affecté, comme s'ils venoient du point *a*, et s'imaginera que l'objet de sa vision existe en *o*. Il n'y aura pourtant pas d'image comme dans le cas précédent, on auroit beau mettre une table blanche en *o*, il ne s'y présenterait aucun tableau, faute de rayons, c'est pourquoi, on dit qu'il y a en *o* une image imaginaire, c'est-à-dire, qui n'est point réelle : le mot *imaginaire* étant opposé à celui de *réel*.

Cependant un œil placé en E reçoit la même impression que si l'objet O P, dont les rayons sont sortis originairement, existait en *o*. Il est donc très - important de connoître, comme dans les cas précédens, le lieu et la grandeur de cette image imaginaire *o p*. Il suffit pour le lieu, de remarquer que, si la distance de l'objet A O étoit égale à la distance du foyer du verre, l'image en serait éloignée à l'infini, et c'est ce que ce cas a de commun avec le précédent; mais plus on approche l'objet du verre, ou que la distance A O devient plus petite que celle du foyer du verre, plus l'image imaginaire s'approche du verre, quoique pourtant, elle reste toujours plus éloignée du verre que l'objet même.

Pour éclaircir la chose par un exemple, supposons que la distance du foyer du verre soit de 6 pouces, et pour les différens éloignemens de l'objet, la table ci-jointe nous marque la distance de l'image imaginaire *o p*.

Distance de l'objet A O	Distance de l'image imaginaire A *o*
6	infinie
5	30
4	12
3	6
2	3
1	1 et un cinquième

La regle pour trouver la grandeur de cette image imaginaire *op* est aisée et générale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre (que j'ai marqué C) et par l'extrêmité de l'objet P, la ligne droite C P *p*; et à sa rencontre avec la ligne *o p*, tirée perpendiculairement en *o* à l'axe du verre, se trouvera la grandeur de l'image imaginaire *op*; d'où l'on voit que cette image est toujours plus grande que l'objet même OP, autant de fois qu'elle est plus éloignée du verre que l'objet O P. On voit aussi que cette image n'est pas renversée comme dans le cas précédent, mais debout comme l'objet. V. A.

V. A. doit comprendre quel usage, les personnes dont la vue n'est pas propre à regarder les objets de près, et qui les voyent mieux dans un grand éloignement, peuvent tirer de ces verres. Elles n'ont qu'à regarder les objets par des verres convexes, pour les voir comme s'ils étaient fort éloignés. Le défaut de ne pas bien voir les objets près, a lieu ordinairement chez les vieillards, qui se servent en conséquence de lunettes à verres convexes, qui, exposés au soleil, brûlent comme un verre ardent; ce qui fait connaître la distance du foyer de chaque verre. Quelques personnes ont besoin de lunettes dont le foyer soit fort court, d'autres d'un foyer plus grand, selon la portée de leur vue; mais il me suffit, pour le moment, d'avoir expliqué l'usage de ces lunettes en général.

le 12 *Janvier* 1762.

LETTRE CXCVIII.

V. A. a vu comment les verres convexes soulagent la vue des vieillards, en leur représentant les objets plus loin qu'ils ne sont effectivement : il y a au contraire des yeux qui demandent, pour voir les ob-

jets distinctement, qu'ils leur soient représentés plus près, et ce sont les verres concaves qui leur rendent ce service : ce qui me conduit à l'explication de l'effet des verres concaves, directement contraires à celui des verres convexes

Lorsque l'objet O P (*Plan. VI*, *fig.* 9) est fort éloigné, et que ses rayons O M, O M tombent presque paralleles sur le verre concave T V, alors, au lieu de devenir convergens par la réfraction du verre, ils deviennent plus divergens au contraire, en suivant les routes N F, N F, qui, prolongées en arrière, concourent dans le point *o* ; desorte qu'un œil placé, par exemple, en E, reçoit ces rayons refractés de la même manière que s'ils partaient du point *o*, quoiqu'effectivement ils viennent du point O ; et c'est pourquoi j'ai ponctué dans la figure les lignes droites N *o*, N *o*.

Comme l'objet est supposé infiniment éloigné ; si le verre était convexe, le point *a* serait ce qu'on nomme foyer, mais puisqu'il n'arrive ici aucune concurrence réelle de rayons, on nomme ce point, le foyer imaginaire du verre concave ; quelques auteurs le nomment aussi *point de dispersion*, puisque les rayons réfractés par le verre semblent être dispersés de ce point.

Les verres concaves n'ont donc pas un

vrai foyer comme les convexes, mais seulement un foyer imaginaire, dont la distance au verre Ao est cependant aussi nommée la distance du foyer de ce verre, et sert, par le moyen d'une regle semblable à celle qu'on donne pour les verres convexes, à déterminer le lieu de l'image, lorsque l'objet n'est pas infiniment éloigné. Or cette image est toujours imaginaire, au lieu que pour les verres convexes elle ne le devient que lorsque l'objet est plus proche que la distance du foyer. Sans entrer dans l'explication de cette regle qui regarde uniquement le calcul, il suffit de remarquer.

I. Que lorsque l'objet OP est infiniment éloigné, l'image imaginaire *op* est représentée à la distance de foyer du verre concave, et cela, vers le même côté que se trouve l'objet. Cependant, quoique cette image soit imaginaire, l'œil placé en E est tout aussi bien affecté que si elle était réelle, comme j'ai eu l'honneur de le dire à V. A. au sujet de verres convexes, où l'objet est plus proche du verre que sa distance de foyer.

II. Lorsqu'on approche l'objet OP davantage du verre, son image *op* s'en approchera davantage aussi, mais de manière que l'image sera toujours plus proche du verre que l'objet, au lieu

que pour les verres convexes, l'image en est plus éloignée que l'objet. Pour mieux éclaircir cela, supposons que la distance de foyer du verre concave soit de six pouces;

Si la distance de l'objet O A est	la distance de l'image o A sera;
infinie	6
30	5
12	4
6	3
3	2
2	1 et demi.

III. On détermine toujours par la même regle la grandeur de l'image imaginaire *o p*. On tire du milieu du verre une ligne droite, à l'extrêmité de l'objet P, qui passera alors par l'extrêmité *p* de l'image. Car, puisque la ligne P A représente un rayon qui vient de l'extrêmité de l'objet, il faut que ce même rayon, après la réfraction, passe par l'extrêmité de l'image; mais, puisque ce rayon P A passe par le milieu du verre, il ne souffre aucune réfraction; il faut donc qu'il passe lui-même par l'extrêmité de l'image, qui sera en *p*.

IV. Cette image n'est pas renversée, mais

dans son sens naturel comme l'objet ; et l'on peut observer cette regle générale, que toutes les fois que l'image tombe du même côté du verre où est lobjet, elle est toujours représentée debout, que le verre soit convexe ou concave ; mais quand elle est représentée de l'autre côté du verre, elle est alors renversée ; ce qui ne peut avoir lieu que dans les verres convexes.

V. Il est donc clair, que les images représentées par les verres concaves, sont toujours plus petites que les objets ; et la raison en est évidente, puisque les images sont plus proches qu'eux : on n'a qu'à regarder la figure pour s'assurer de cette vérité. Ce sont les propriétés principales qu'il faut remarquer sur la nature des verres concaves, et la manière dont ils représentent les objets.

Il est maintenant aisé de comprendre comment les verres concaves rendent de grands services à ceux qui ont la vue courte. V. A. connaît bien des personnes qui ne sauraient lire ou écrire sans toucher presque le papier de leur nez. Il faut donc, pour voir distinctement, qu'ils approchent les objets de leurs yeux, et je crois avoir déja remarqué qu'on leur donne le nom de Miopes : les verres concaves leur seront donc d'un excellent usage, car ils leur représentent les objets les plus

éloignés, comme fort près : les images n'étant éloignées de ces verres que de la distance de leur foyer qui, pour la plupart, n'est que de quelques pouces.

Il est vrai que ces images sont beaucoup plus petites que les objets mêmes ; mais cela n'apporte aucun obstacle à la vision distincte. Une petite chose peut nous paraître plus grande de près, qu'un très-grand corps fort éloigné. En effet, une pièce de *deux - dreyer* * paraîtra plus grande à V. A. qu'une étoile du ciel, quoique cette étoile surpassât de beaucoup la terre en grandeur.

Ceux qui ont la vue courte, ou les miopes, ont donc besoin de verres qui leur représentent les objets plus près ; tels sont les verres concaves. Et ceux qui ont la vue trop longue, qu'on nomme presbites, ont besoin de verres convexes, qui leur représentent les objets dans un plus grand éloignement.

le 16 Janvier 1762.

* Petite monnoye d'argent un peu plus grande que la prunelle de l'œil, qui est la quarante-huitième partie d'un écu.



LETTRE CXCIX.

J'ai eu l'honneur de dire à V. A que les miopes sont obligés de se servir de verres concaves pour bien voir les objets éloignés, et que les presbites font usage de verres convexes pour bien voir ceux qui sont près : chaque vue a une certaine étendue, et chacun voudrait avoir un verre qui lui représentât parfaitement les objets. Cette distance est fort petite chez les miopes, et très-grande chez les presbites : mais il y a des yeux si bien conformés, qu'ils voyent également bien des objets voisins et ceux qui sont à une grande distance.

Cependant, de quelque nature que soit la vue d'une homme, cette distance n'est jamais bien petite ; il n'y a point de miope qui puisse voir distinctement à moins de distance qu'un pouce ; V. A. aura bien observé que, lorsqu'elle approche trop un objet de ses yeux, elle ne le voit que très-confusément, cela dépend de la structure de ces organes, qui est telle chez les hommes, qu'ils ne peuvent pas voir de très-près : pour les insectes, au contraire, les objets fort éloignés sont invisibles, et ils apperçoivent avec la plus grande facilité ceux dont ils sont peu distans. Je ne crois pas qu'une mou-

che puisse voir les étoiles, parce qu'elle voit très-bien à la distance de la dixieme partie d'un pouce, à laquelle nous ne voyons absolument rien. Cette considération me conduit à l'explication des microscopes, qui nous représentent les plus petits objets, comme s'ils étaient bien grands.

Pour en donner une idée juste, il faut bien distinguer la grandeur apparente de chaque objet, de la véritable; celle-ci fait l'objet de la géométrie, et reste invariable tant que le corps demeure dans son état. Mais la grandeur apparente peut varier à l'infini, quoique le corps demeure toujours le même. Ainsi les étoiles nous paraissent extrêmement petites, quoique leur grandeur véritable soit prodigieuse, parce que nous en sommes à une très-grande distance. Si nous pouvions en approcher, elles nous paraîtraient plus grandes, d'où V. A. jugera que la grandeur apparente dépend de l'angle que font entr'eux les rayons qui viennent des extrêmités de l'objet dans nos yeux.

Soit P O Q (*Planche VII, fig. 1*) l'objet de notre vue, qui, si l'œil était placé en A, paraîtrait sous l'angle P A Q, nommé l'angle visuel, et qui nous indique la grandeur apparente de l'objet; on voit à l'inspection de la figure, que plus

l'œil s'éloigne de l'objet, plus cet angle devient petit, et qu'il est possible que les plus grands corps nous paraissent sous un très-petit angle visuel, pourvu que nous en soyons assez éloignés, comme il arrive dans les étoiles. Mais quand l'œil s'approche davantage de l'objet, et qu'il le regarde de B, il lui paraîtra sous l'angle visuel O B Q, qui est plus grand que P A Q. Approchons l'œil jusqu'en C, et l'angle visuel P C Q sera plus grand encore. De plus, l'œil étant placé en D, l'angle visuel sera P D Q, et en l'approchant jusqu'en E, l'angle visuel sera P E Q toujours plus grand. Donc, plus on approche l'œil de l'objet, plus l'angle visuel augmente, et par conséquent aussi la grandeur apparente. Quelque petit que soit l'objet, il est donc possible d'en augmenter la grandeur apparente autant qu'on voudra : il n'y a qu'à s'en approcher autant qu'il faut, pour un angle visuel aussi grand. Une mouche assez près de l'œil pourra, par conséquent, paraître sous un angle aussi grand qu'un éléphant à la distance de dix pieds. Il faut, dans une telle comparaison, tenir compte de la distance dans laquelle on suppose voir l'éléphant; sans cette condition, on ne dirait absolument rien; puisqu'un éléphant ne nous paraît grand, que quand nous n'en sommes pas fort éloignés; à la distance d'un

mille, on ne distingue peut-être plus un éléphant d'un cochon, et s'il était transporté dans la lune, il deviendrait absolument invisible; et je pourrais bien dire qu'une mouche me paraît plus grande qu'un éléphant qui serait dans un très-grand éloignement. Ainsi, quand on veut parler avec précision, il ne faut pas parler de la grandeur apparente d'un corps, sans avoir égard à sa distance, puisque le même corps peut nous paraître très-grand ou très-petit, selon que sa distance est plus ou moins grande. Il est donc très-facile de voir les plus petits objets sous de très-grands angles visuels, on n'a qu'à les tenir à une très-petite distance de l'œil.

Cet expédient est très-bon pour une mouche, mais les yeux des hommes ne sauraient rien voir à de trop petites distances, quelque courte que soit leur vue, d'ailleurs, les bonnes vues voudraient voir aussi les plus petits objets d'une extrême grosseur. Il s'agit donc de trouver un moyen par lequel nous puissions voir un objet distinctement, nonobstant sa grande proximité de l'œil. Les verres convexes nous procurent cet avantage, en éloignant l'image des objets trop près.

Qu'on se serve d'un verre convexe très-petit M *n*, (*Planche VII*, *fig.* 2), dont la distance de foyer soit longue d'un demi-

pouce ; si l'on place devant un petit objet O P, à une distance un peu moindre que demi-pouce, le verre en représentera l'image *o p*, aussi loin qu'on voudra. Qu'on tienne donc l'œil derrière le verre, et l'on verra l'objet comme s'il était en *o*, et dans un éloignement suffisant, comme si sa grandeur était *op* : comme l'œil est supposé très-proche du verre, l'angle visuel sera *p t o*, c'est-à-dire, le même que P *t* O, sous lequel l'œil nud verrait l'objet O P dans cette proximité ; mais la vision est devenue distincte par le moyen du verre ; tel est le principe de la construction des microscopes.

le 19 *Janvier* 1762.

LETTRE CC.

QUAND plusieurs personnes regardent le même objet par un microscope, le pied d'une mouche, par exemple, tous conviennent qu'ils le voyent très-grand, mais leur jugement sur la véritable grosseur sera fort partagé ; l'un dira qu'il lui paraît aussi grand que celui d'un cheval ; un autre, que celui d'une chevre ; le troisième, que celui d'un chat. Personne n'avance donc rien de précis là-dessus, s'il n'ajoute à quelle distance il prétend

voir les pieds d'un cheval, de la chèvre, ou du chat : ils sous-entendent donc chacun sans le dire, une certaine distance qui est sans doute différente ; par conséquent on n'a pas lieu d'être surpris de leurs divers sentimens, puisqu'un pied de cheval, vu de loin, peut bien ne pas paraître plus grand qu'un pied de chat vu de près. Ainsi, quand il s'agit de dire combien un microscope grossit les objets, il faut s'accoutumer à parler d'une manière plus précise, et expliquer principalement la distance, dans la comparaison qu'on veut faire.

Il ne convient donc pas de comparer les apparences que nous offrent les microscopes avec les objets d'une autre nature, que nous sommes accoutumés de voir, tantôt loin, tantôt près ; le plus sûr moyen de régler cette estime, semble celui dont les auteurs qui traitent des microscopes, se servent actuellement. Ils comparent un petit objet vu par le microscope, avec l'aspect sous lequel il serait vu à la vue simple, en étant éloigné à une certaine distance, et ils sont d'avis que, pour bien contempler ce petit objet à la vue simple, il le faut placer à la distance de 8 pouces, en se réglant sur de bons yeux, car un miope s'en approcherait bien davantage, et un presbite ferait le contraire. Mais cette différence

n'influe pas sur le raisonnement, pourvu qu'on fixe la distance sur laquelle on se regle ; et aucune raison ne nous oblige de fixer un autre distance que celle de 8 pouces, reçue de tous les auteurs qui ont traité cette matière. Ainsi, quand on dit qu'un microscope rend les objets cent fois plus grands, V. A. entendra, qu'à l'aide de ce microscope, les objets paraissent cent fois plus grands que si nous les regardions à la distance de 8 pouces, et, par ce moyen, elle se formera une idée juste de l'effet d'un microscope.

En général, un microscope grossit autant de fois qu'un objet paraît plus grand que si on le regardait sans le secours du verre, à la distance de 8 pouces. V. A. conviendra bien que c'est déja un effet surprenant, que de voir un objet cent fois plus grand qu'il ne paraît à la distance de 8 pouces : mais on a poussé la chose beaucoup plus loin, et l'on a des microscopes qui grossissent jusqu'à 500 fois, ce qui est prodigieux ; on pourrait bien dire alors que la jambe d'une mouche paraît plus grande que celle d'un éléphant. Je crois même qu'on pourrait faire des microscopes qui grossiraient 1000 fois et même 2000 fois, qui nous découvriraient, sans doute, quantité de choses qui nous sont encore inconnues.

Mais quand on dit qu'un objet paraît, par le microscope, cent fois plus grand

qu'étant vu à la distance de 8 pouces, il faut entendre par-là que l'objet est grossi, tant en longueur qu'en largeur et profondeur, de sorte que chacune de ces dimensions paraît cent fois plus grande. On n'a donc qu'à concevoir à la distance de 8 pouces un autre objet semblable au premier, mais dont la longueur soit cent fois plus grande de même que sa largeur et sa profondeur, et ce sera l'image qu'on voit par le microscope. Or, si la longueur, la largeur et la profondeur d'un objet sont cent fois plus grandes que celles d'un autre, V. A. sentira aisément que toute l'étendue sera beaucoup plus de cent fois plus grande : pour mettre cela dans tout son jour, concevons deux parallelogrames A B C D, et E F G H, (*Planche VII, fig.* 3), qui ayent la même largeur, mais que la longueur du premier A B soit cinq fois plus grande que la longueur de l'autre E F, il est clair que l'aire, ou l'espace contenu dans le premier, est cinq fois plus grande que celle qui est renfermée dans l'autre, puisqu'en effet celui-ci est contenu 5 fois dans le premier. Donc pour que le parallelograme A D soit 5 fois plus grand que celui E H, il suffit que sa longueur A B soit 5 fois plus grande, pendant que la largeur est la même ; et si, outre cela, la largeur était aussi 5 fois plus grande, il deviendrait encore 5 fois plus grand, et par conséquent 5 fois 5 fois,

c'est-à-dire, 25 fois plus grand. Ainsi, de deux surfaces, si l'une est 5 fois plus longue et 5 fois plus large que l'autre, elle est effectivement 25 fois plus grande.

Si nous tenons encore compte de la profondeur ou hauteur, l'augmentation sera plus grande encore. Que V. A. conçoive deux chambres, dont l'une soit 5 fois plus longue, 5 fois plus large et 5 fois plus haute que l'autre : sa capacité deviendra 5 fois 25 fois, c'est-à-dire, 125 fois plus grande. Donc, lorsqu'on dit qu'un microscope grossit 100 fois, puisqu'on doit l'entendre, tant de la longueur, que de la largeur et profondeur ou épaisseur, c'est-à-dire, trois dimensions, toute l'étendue de l'objet sera augmentée 100 fois 100 fois 100 fois ; or 100 fois 100 sont 10000, qui étant pris encore 100 fois, donnent 1,000,000, ainsi quand un microscope grossit 100 fois, l'étendue entière de l'objet est représentée 1,000,000 fois plus grande. On se contente cependant de dire, que le microscope ne grossit que 100 fois ; mais il faut entendre que chaque dimension, savoir : la longueur, la largeur et la profondeur, est représentée 100 fois plus grande. Si donc un microscope grossissait 1000 fois l'étendue entière de l'objet deviendrait 1000 fois, 1000 fois 1000 fois plus grande, ce qui fait 1,000,000,000 ou mille millions ; effet

qui serait prodigieux. Cette remarque est bien nécessaire pour se former une idée juste de ce qu'on dit sur la force des microscopes.

le 23me Janvier 1762.

LETTRE CCI.

Ayant expliqué à V. A. de quelle manière on doit juger de la force des microscopes, il me sera facile de démontrer la proposition fondamentale pour la construction des microscopes simples. Je dois remarquer à cette occasion, qu'il y a deux sortes de microscopes ; les uns d'un seul verre, et les autres de deux ou plusieurs, qui portent le nom de microscopes simples, et de microscopes composés, et qui exigent des éclaircissemens particuliers. J'entretiendrai V. A. en premier lieu, des microscopes simples, qui ne consistent que dans un seul verre convexe, dont l'effet est déterminé par cette proposition : *Un microscope simple grossit autant de fois que sa distance de foyer est plus près que 8 pouces* ; en voici la démonstration.

Soit MN, (*Planc. VII, fig.* 4), un verre convexe dont la distance de foyer à laquelle il faut placer l'objet OP, à-peu-près,

peu-près, afin que l'œil le voye distinctement, soit CO; cet objet sera apperçu, sous l'angle OCP. Mais si l'on le regardait à la distance de 8 pouces, il paraîtrait sous un angle autant de fois plus petit que la distance de 8 pouces surpasse la distance CO; l'objet paraîtra donc autant de fois plus grand que si on le regardait à la distance de 8 pouces. Or, selon la regle établie ci-dessus, un microscope grossit autant de fois, qu'il nous présente les objets plus grands que si nous les regardions à la distance de 8 pouces. Par conséquent un microscope grossit autant de fois que sa distance de foyer est plus petite que 8 pouces. Donc un verre, dont la distance de foyer est un pouce, grossit précisément 8 fois, et un verre, dont la distance de foyer n'est qu'un demi-pouce, grossira 16 fois. On divise un pouce en douze parties, qu'on nomme *lignes*, de sorte qu'un demi-pouce contient 6 lignes; de-là, il sera aisé de dire combien de fois chaque verre, dont la distance de foyer est donnée en lignes, doit grossir, selon cette table.

Distance de foyer du verre en lignes.

	12.	8.	6.	4.	3.	2.	1.	½	lignes
Grossit	8.	12.	16.	24.	32.	48.	96.	192	fois.

Ainsi un verre convexe, dont la distance de foyer est une ligne, grossit 96 fois, et si la distance est d'une demi-ligne, le microscope grossira 192 fois, ou environ 200 fois. Si l'on voulait des effets plus grands, il faudrait faire des verres dont le foyer fut encore plus petit. Or, j'ai déja remarqué que pour faire un verre d'un certain foyer donné, on n'a qu'à mettre le rayon de chaque face égale à cette distance de foyer, de sorte que le verre devienne également convexe des deux côtés. Je vais donc exposer (*Planc. VII, fig.5*), aux yeux de V. A., les desseins de quelques-uns de ces verres, ou microscopes.

I. La distance de foyer de ce verre A O est d'un pouce ou 12 lignes. Ce microscope grossit donc 8 fois.

II. La distance de foyer du verre M N est de 8 lignes. Ce microscope grossit 12 fois.

III. La distance de foyer du verre M N est de 6 lignes. Ce microscope grossit 16 fois.

IV. La distance de foyer de ce verre est de quatre lignes. Ce microscope grossit 24 fois.

V. La distance de foyer de ce verre est de 3 lignes. Ce microscope grossit 32 fois.

VI. La distance de foyer de ce verre est

de 2 lignes. Ce microscope grossit 48 fois.

VII. La distance de foyer de ce verre n'est que d'une ligne. Ce microscope grossit 96 fois.

On peut faire des microscopes beaucoup plus petits encore. Les artistes en exécutent, et nous procurent par ce moyen des effets beaucoup plus considérables, par où il faut bien remarquer, que la distance de l'objet au verre devient de plus en plus petite, puisqu'elle doit être à-peu-près égale à la distance de foyer du verre. Je dis à-peu-près, parce que chaque œil y approche le verre tant soit peu plus ou moins, selon sa constitution; les miopes l'approchent davantage, et les presbites moins. V. A. voit donc, que plus l'effet est grand, plus le verre ou le microscope devient petit, & plus aussi il faut approcher l'objet : ce qui est un très-grand inconvénient, puisque d'un côté, il est incommode de regarder à travers un si petit verre, et d'un autre, parce que l'objet doit être fixé si près de l'œil. On tâche de remédier à ces inconvéniens par une garniture convenable, qui en facilite l'usage; mais la vision de l'objet se trouble considérablement dès que la distance de l'objet souffre le moindre changement; et comme dans les plus petits verres, l'objet doit presque les toucher, dès que

la surface de l'objet est tant soit peu inégale, on ne le voit que confusément. Car, quand les éminences se trouvent à la juste distance, les concavités sont trop éloignées et ne sauraient être vues que très-confusément. C'est ce qui nous oblige à renoncer aux microscopes simples, quand on en souhaite qui grossissent beaucoup, et de recourir aux microscopes composés.

le 26 Janvier 1762.

LETTRE CCII.

V. A. vient de voir comment il faut faire des microscopes simples, qui grossissent autant de fois qu'on peut souhaiter; on n'a qu'à fixer une ligne droite de 8 pouces, comme celle que j'ai marqué A B * (*Planc. VII, fig.* 6), qui contienne précisément 8 pouces du pied du Rhin, dont on se sert par-tout en Allemagne. Alors il faut partager cette ligne A B en autant de parties égales qu'on veut grossir de fois l'objet proposé, et une de ses parties donnera la distance de foyer du verre demandé. Ainsi, si l'on veut grossir cent fois, on prendra le cen-

* Dans l'impossibilité de représenter ici une ligne droite, de huit pouces, on en a mis une de quatre.

tieme de la ligne AB, par conséquent, il faut faire un verre, dont la distance de foyer soit précisément égale à cette partie A 1, qui donnera en même tems le rayon des faces du verre qui est représenté, article VII de la figure ci-dessus.

V. A. voit par-là, que plus l'effet est grand, plus le verre doit être petit, de même que la distance de foyer à laquelle il faut mettre l'objet OP devant le verre, en appliquant l'œil par derrière; et si l'on faisait le verre deux fois plus petit que je ne l'ai désigné, pour grossir deux cent fois, il deviendrait si petit, qu'il faudrait presque un microscope pour voir le verre lui-même; aussi faudrait-il s'approcher si près qu'on toucherait presque le verre, ce qui est un très-grand inconvénient, comme j'ai déja eu l'honneur de l'observer: de sorte qu'on ne saurait presque pousser l'effet du microscope au-delà de deux cent fois; ce qui ne suffit pas pour voir les plus petites choses que renferme la nature. L'eau la plus claire contient de petits animalcules, qui, quoiqu'on les voye grossis 200 fois, ne laissent pas de paraître comme des puces, et il faudrait des microscopes qui grossissent 20000 fois pour les voir de la grandeur d'un rat, et il s'en faut beaucoup qu'on atteigne ce degré, même avec les microscopes composés.

Mais outre les inconvéniens des microscopes simples, que je viens de remarquer, tous ceux qui se servent de ces instrumens, se plaignent, quand ils en exigent de très-grands effets, d'un autre qui n'est pas moins fâcheux, c'est que plus on grossit les objets, plus ils paraissent obscurs ; il semble qu'on les voit à la lueur d'une lumière très-faible, ou même au clair de la lune, de sorte qu'on ne saurait presque rien y distinguer. V. A. n'en sera pas surprise, lorsqu'elle voudra se souvenir que la lumière de la pleine lune est au-delà de deux cent mille fois plus faible que celle du soleil.

Il est donc bien important d'expliquer d'où vient cette diminution de lumière ; on comprend aisément que, si les rayons qui viennent d'un très-petit objet, doivent nous le représenter comme s'il était beaucoup plus grand, cette petite quantité de lumière ne saurait être suffisante : cependant, quelque fondée que paraisse cette raison, elle n'est pas valable, et ne fait que nous éblouir sur cette question. Car si le verre, en grossissant davantage, entraîne après lui nécessairement une diminution de clarté, on devrait aussi s'en appercevoir dans les moindres effets ; à supposer même que ce ne fut pas à un si haut degré ; mais on peut grossir jusqu'à 50 fois, sans appercevoir la moin-

dre diminution de lumière, qui cependant devrait être 50 fois plus faible, si la raison alléguée était juste. Il faut donc chercher ailleurs la cause de ce phénomène, et il faut même remonter aux premiers principes de la vision.

Je prie, à cette occasion, V. A. de se rappeler ce que j'ai eu l'honneur de lui dire sur l'usage de la pupille, ou de ce trou noir, qu'on voit dans l'œil sur le milieu de l'iris. C'est par cette ouverture que les rayons entrent dans les yeux; ainsi, plus cette ouverture est grande, plus il entre de rayons. Il faut considérer ici deux cas où les objets sont fort lumineux et brillans, et où ils ne sont éclairés que d'une lumière fort faible. Dans le premier, la pupille se contracte elle-même, sans que notre volonté le commande, et le Créateur l'a pourvue de cette faculté, pour préserver l'intérieur de l'œil du trop grand éclat de la lumière, qui blesserait infailliblement les nerfs. Toutes les fois donc qu'on se trouve dans un lieu fort éclairé, on voit que toutes les pupilles se rétrécissent, pour ne laisser entrer dans les yeux, qu'autant de rayons qu'il en faut pour y dépeindre une image assez lumineuse. Mais il arrive le contraire lorsqu'on se trouve dans un lieu sombre; la pupille s'agrandit alors pour recevoir

la lumière en plus grande quantité. Il est fort aisé de remarquer ce changement, toutes les fois qu'on passe d'un lieu obscur dans un autre fort éclairé. Pour le sujet dont il s'agit ici, je me borne à cette circonstance, que plus il entre de rayons dans l'œil, plus l'image portée sur la rétine sera lumineuse; et réciproquement, plus la quantité de rayons qui entrent dans l'œil, est petite, plus l'image y devient faible, et paraît par conséquent plus obscure. Il peut arriver qu'il n'entre que fort peu de rayons dans l'œil, quoique la pupille soit bien ouverte, on n'a qu'à faire un petit trou avec une épingle dans une carte, et regarder quelqu'objet; alors, quelqu'éclairé qu'il soit du soleil, il paraîtra d'autant plus sombre que le trou est plus petit, on peut même regarder le soleil à travers. La raison en est évidente, puisqu'il n'entre dans l'œil que fort peu de rayons: quelqu'ouverte que soit la pupille, c'est le trou d'un carton qui détermine la quantité de lumière qui entre dans l'œil, et non la pupille, qui fait ordinairement cette fonction.

Il arrive la même chose dans les microscopes qui grosissent beaucoup, car lorsque le verre est extrêmement petit, il n'y passe qu'une fort petite quantité de rayons comme *m n* (*Planc. VII, fig.* 8),

qui étant plus petite que l'ouverture de la pupille, fait paraître l'objet d'autant plus obscur; on voit par-là que cette diminution de lumière n'a lieu, que lorsque le verre M N, ou plutôt sa partie ouverte, est plus petite que la pupille. S'il était possible de produire un grand grossissement par le moyen d'un verre plus grand, cette obscurcissement n'aurait pas lieu, et c'est la véritable explication de la question. Pour remédier à cette inconvénient, dans les grands effets du microscope, on tache d'éclairer l'objet autant qu'il est possible, pour rendre plus fort le peu de rayons qui est porté à l'œil. Pour cet effet, on éclaire les objets par le soleil même, et on se sert aussi de miroirs qui y renvoyent la clarté du soleil. Ce sont, à-peu-près, toutes les circonstances à considérer dans les microscopes simples, et V. A. jugera aisément par-là de l'effet de tous ceux qu'elle aura occasion de voir.

le 30 *Janvier* 1762.



LETTRE CCIII.

AVANT que d'expliquer la construction des microscopes composés, j'espère qu'une digression sur les lunettes ou télescopes ne déplaira point à V. A. Ces deux espèces d'instrumens sont parfaitement liés ensemble : l'un sert à mieux éclaircir l'autre. Comme les microscopes servent à considérer les objets voisins, en nous les représentant sous un angle beaucoup plus grand que si nous les regardions à une certaine distance, comme de 8 pouces ; l'autre espèce est destinée à nous découvrir mieux les objets fort éloignés, en nous les représentant sous un angle plus grand qu'à la vue simple. Ces instrumens portent plusieurs noms, tant selon leur grosseur, que selon leur destination ; mais il faut bien les distinguer des lunettes que les vieillards portent sur le nez.

Un télescope grossit autant de fois qu'il nous représente les objets sous un angle plus grand qu'à la vue simple. Par exemple, la lune paraît à la vue simple sous un angle d'un demi-degré ; par conséquent un télescope grossit 100 fois, lorsqu'il nous représente la lune sous un

angle de 50 degrés, qui est 100 fois plus grand qu'un demi-degré : s'il grossissait 200 fois, il ferait voir la lune sous un angle de 100° : et la lune paraîtrait alors remplir plus de la moitié du ciel visible, dont toute l'étendue n'est que de 180 degrés.

On dit communément que les télescopes nous approchent les objets, ce qui est une manière de parler fort équivoque, qui admet deux significations différentes. L'une, que voyant par un télescope, nous jugeons les objets autant de fois plus proches de nous, qu'il les grossit. Mais j'ai déja eu l'honneur de faire remarquer à V. A. que nous ne saurions connaître les distances des objets, que par le jugement, et que ce jugement ne saurait avoir lieu que dans les objets peu éloignés; donc, lorsqu'ils le sont autant que nous le supposons ici, ce jugement sur les distances tromperait beaucoup. L'autre signification, par laquelle on entend que les télescopes nous représentent les objets aussi grands que nous les verrions si nous en approchions davantage, est plus conforme à la vérité. V. A. sait que, plus on s'approche d'un objet, plus l'anlge sous lequel il paraît devient grand ; ainsi cette explication revient à celle que j'ai donnée au commencement. Cependant lorsqu'on regarde des objets fort connus, comme des hommes dans un grand éloi-

gnement, et qu'on les voit par une lunette sous un angle beaucoup plus grand, on est porté à s'imaginer que ces hommes sont beaucoup plus proches, puisqu'alors on les verrait effectivement sous un angle d'autant plus grand. Mais lorsqu'il s'agit d'objets peu connus, comme le soleil et la lune, aucune estime de distance ne peut avoir lieu. Ce cas est tout-à-fait différent de celui dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A. où un verre concave, dont se servent ceux qui ont la vue courte, représente les images des objets à une fort petite distance : le verre concave, par exemple, dont je me sers, me représente les images de tous les objets éloignés, à la distance de 4 pouces ; cependant je ne m'imagine point que le soleil, la lune et les étoiles soient si près de moi ; ainsi nous ne jugeons point que les objets soient où leurs images se trouvent représentées par les verres : nous le croyons aussi peu que l'existence des objets dans nos yeux, quoique leurs images y soient peintes : et V. A. se souviendra bien que le jugement sur la véritable distance des objets, et sur leur véritable grandeur, dépend de circonstances particulières.

Le but principal des télescopes est donc de grossir ou de multiplier l'angle sous lequel les objets paraissent à la vue simple ;

et la division principale des télescopes se calcule selon l'effet qu'ils procurent ; de sorte qu'on dit que tel télescope grossit 5 fois, un autre 10, un autre 20 ou 30 et ainsi de suite. Je remarque à cet égard que les lunettes de poche grossissent rarement au-delà de 10 fois; mais les lunettes ordinaires, dont on se sert pour examiner les objets terrestres fort éloignés, grossissent depuis 20 jusqu'à 30 fois, et leur longueur monte jusqu'à 6 pieds et au-delà. Un effet pareil, quoique très-considérable, par rapport aux objets terrestres, est encore peu de chose pour les corps célestes, qui en demandent un beaucoup plus grand. C'est pourquoi on a des lunettes astronomiques, qui grossissent depuis 50 jusqu'à 200 fois, et il paraît difficile d'aller plus loin, puisque, selon la manière ordinaire de les construire, plus l'effet est grand, plus elles deviennent longues. Une lunette qui doit grossir 100 fois, a déja 30 pieds de longueur, et une de 100 pieds peut à peine grossir 200 fois. V. A. doit donc comprendre que la difficulté de diriger et de manier de telles machines, met des obstacles insurmontables à pousser l'expérience plus loin. Le fameux Hévélius, astronome de Dantzig, se servait de lunettes de 200 pieds, mais ces instrumens étaient sans doute fort défectueux, puisqu'on décou-

vre les mêmes choses aujourd'hui avec de beaucoup plus courts.

Telle est en gros la description des télescopes et de leurs diverses espèces, qu'il est bon de bien remarquer, avant que d'entrer dans le détail de leur construction, et de la manière dont on joint deux ou plusieurs verres, pour produire tous les différens effets.

le 2 Février 1762.

LETTRE CCIV.

On ne sait pas trop à qui nous sommes redevables de la découverte des télescopes ; si c'est à un artisan Hollandois, ou à un Italien nommé Porta. Quoiqu'il en soit, il y a près de 150 ans qu'on a commencé à faire de petites lunettes de poche, composées de deux verres, dont l'un était convexe et l'autre concave. Il semble que c'est au hasard seul que l'on soit redevable d'une découverte si utile. On a pu, sans aucun dessein, rapprocher ou éloigner deux verres, jusqu'à ce que les objets ont paru distinctement.

Le verre convexe P A P (*Plan. VII, fig.* 9), est dirigé vers l'objet, et c'est au verre concave Q B Q qu'on applique l'œil;

c'est pourquoi le verre PAP est nommé l'objectif, et le verre QBQ l'oculaire. Ces deux verres sont disposés sur le même axe AB, perpendiculaire sur l'un et l'autre verre, et qui passe par leur milieu. La distance de foyer du verre convexe PAP doit être plus grande que celle du verre concave, et les verres doivent être disposés de manière que, si AF est la distance du foyer de l'objectif PAP, le foyer de l'oculaire QBQ tombe dans le même point F ; ainsi, l'intervalle entre les verres AB, est la différence entre les distances de foyer des deux verres ; AF étant la distance de foyer de l'objectif, et BF celle de l'oculaire. Quand les verres sont placés, ceux qui ont la vue bonne, verront fort bien les objets éloignés, qui leur paraîtront autant de fois plus grands que la ligne AF est plus grande que BF. Ainsi prenant la distance de foyer de l'objectif de 6 pouces, et de celle de l'oculaire de 1 pouce, les objets seront grossis six fois, ou paraîtront sous un angle six fois plus grand qu'à la vue simple, et dans ce cas, l'intervalle entre les verres AB sera de 5 pouces, ce qui est en même-tems la longueur de la lunette. V. A. sent bien, sans que je le lui dise, que ces deux verres sont enchassés dans un tuyau de la même longueur, quoique je ne l'aye pas exprimé dans la figure.

Après avoir exposé de quelle manière

les deux verres doivent être joints ensemble, pour qu'il en résulte un bon instrument, il y a deux choses que je dois faire remarquer à V. A.; l'une, pourquoi ces verres nous représentent distinctement les objets, et l'autre, pourquoi ils paraissent grossis autant de fois, que la ligne A F surpasse la ligne B F. Par rapport à la première, il faut remarquer qu'une bonne vue voit mieux les objets, lorsqu'ils sont si éloignés qu'on puisse regarder les rayons qui tombent dans l'œil, comme paralleles entr'eux.

Considérons donc un point V (*Planc. VI fig.* 10), dans l'objet vers lequel est dirigé la lunette, et puisqu'on le suppose fort éloigné, les rayons qui tombent sur l'objectif P Q, O A P Q, seront presque paralleles entr'eux; ainsi, l'objectif Q A Q, étant un verre convexe, le réunira dans son foyer F, de sorte que ces rayons étant convergens, ne conviendraient point à une bonne vue. Or, le verre concave en B, ayant le pouvoir de rendre les rayons plus divergens, ou de diminuer leur convergence, rompra les rayons Q L et Q R, ensorte qu'ils deviendront paralleles entr'eux, ou bien, au lieu de se réunir en F, ils prendront la route R *s*, R *s* parallele à l'axe B F; ainsi une bonne vue, sur laquelle on se regle toujours dans la construction de ces ins-

trumens

trumens, en recevant ces rayons paralleles RS, *bf*, R *s*, verra distinctement l'objet. Les rayons R *s*, R *s* deviennent précisément paralleles entr'eux, parce que le verre concave a son foyer, ou plutôt, son point de dispersion, en F.

V. A. doit se souvenir que, lorsque les rayons paralleles tombent sur un verre concave, ils deviennent divergens par la réfraction, ensorte qu'étant continués en arrière, ils se rendent dans le foyer. Cela posé, nous n'avons qu'à renverser le cas, et regarder les rayons SR, SR, comme incidens sur le verre concave, alors il est certain qu'ils prendront les routes RQ, RQ, qui, continuées en arrière, se rendent au point *f*, où est le foyer commun des verres convexe et concave. Maintenant c'est une loi générale que, de quelque maniere que les rayons soient rompus, en allant d'un lieu à un autre, ils doivent toujours souffrir les mêmes réfractions, en retournant du dernier lieu au premier. Si donc les rayons réfractés RQ, RQ, répondent aux rayons incidens *s* R, *s* R; alors, réciproquement les rayons QR, QR étant les incidens, les réfractés seront R *s* et R *s*.

La chose deviendra peut-être plus claire, encore quand je dirai, que les verres concaves ont le pouvoir de rendre paralleles ces rayons qui, sans la réfrac-

tion, iraient à leurs foyers. Ou bien V. A. n'a qu'à bien saisir les regles suivantes sur la réfraction, tant des verres convexes que concaves.

I. Par un verre convexe (*Plan. VII, fig.* 11.), les rayons paralleles deviennent convergens.
Les convergens le deviennent encore plus, (*Planche VIII, fig.* 1), et les divergens deviennent moins divergens.
II. Par un verre concave, les rayons paralleles deviennent divergens, *fig.* 2.
Les divergens deviennent encore plus divergens, *fig.* 3, et les rayons convergens deviennent moins convergens.

Tout cela est fondé sur la nature de la réfraction et de la figure des verres, dont le détail demanderait des discussions trop longues ; et outre cela, les deux regles que je viens de rapporter en renferment l'essentiel. Il est donc suffisamment prouvé que, lorsque le verre convexe et le verre concave sont joints de façon qu'ils acquiérent un foyer commun en F, ils représenteront distinctement les objets éloignés, puisque le parallelisme entre les rayons est retabli par le verre concave, après que le verre convexe les a rendu convergens. Ou bien, les rayons des objets fort éloignés étant presque paralleles entr'eux, deviennent convergens par les

verres convexes, et ensuite le verre concave détruit cette convergence, et rend les rayons de nouveau paralleles entr'eux.

le 6 Février 1762.

LETTRE CCV.

Il me reste encore à faire voir à V. A. l'article principal sur les lunettes; celui qui regarde leur effet, en grossissant les objets. J'espère de le mettre dans un tel jour, que toute espèce de doute sera dissipé : pour cet effet, je renfermerai ce que j'ai à dire dans les propositions suivantes.

I. Soit E *e* (*Planche VIII, fig. 4*), l'objet situé sur l'axe de la lunette qui traverse les deux verres perpendiculairement par leurs milieux. Il faut considérer cet objet *Ee* comme infiniment éloigné.

II. Si donc l'œil placé en A, regarde cet objet, il le verra sous l'angle EA*e*, nommé son angle visuel. Ainsi il faut prouver, qu'en regardant ce même objet par la lunette, il paraîtra sous un plus grand angle, et exactement autant de fois plus grand que la distance de foyer du verre objectif PAP surpasse celle de l'oculaire QBQ.

III. Comme l'effet de tous les verres

consiste à représenter les objets dans un autre lieu, et avec une certaine grandeur, nous n'avons qu'à examiner les images, qui seront successivement représentées par les deux verres, dont la dernière est l'objet immédiat de la vue de celui qui regarde dans la lunette.

IV. Or, l'objet E*e* étant infiniment éloigné du verre convexe P A P, son image sera représentée derrière le verre en F*f*, de sorte que A F soit égal à la distance de foyer du verre ; et la grandeur de cette image F*f* est déterminée par la ligne droite *f* A *e* tirée de l'extrêmité de l'objet *e* par le milieu du verre A, par où l'on voit que cette image est renversée, et autant de fois plus petite que l'objet, que la distance A F, est plus petite que la distance A E.

V. Maintenant cette image F*f* tient lieu de l'objet, par rapport au verre oculaire Q B Q : puisque les rayons qui tombent sur ce verre sont ceux mêmes qui voudraient presque former l'image F*f*, mais sont interceptés dans leur route par le verre concave Q B Q : de sorte que cette image n'est qu'imaginaire ; l'effet est cependant le même que si elle était réelle.

VI. Cette image F*f*, que nous regardons à présent comme un objet, se trouvant à la distance de foyer du verre Q B Q,

sera transportée presque à l'infini par la réfraction de ce verre. La figure précédente marque cette nouvelle image en Gg, dont la distance A G doit être conçue comme infinie, et les rayons réfractés pour la seconde fois par le verre Q B Q, tiendront la même route, comme s'ils venaient effectivement de l'image G *g*.

VII. Cette seconde image G *g* étant donc l'objet de celui qui regarde par la lunette, on en doit considérer la grandeur. Pour cet effet, puisqu'elle naît de la première image F *f* par la réfraction du verre Q B Q, suivant la regle génerale, on n'a qu'à tirer par le milieu du verre B, une ligne droite, qui passe par le point *f* de la première image, et la ligne marquera en *g* l'extrêmité de la seconde image.

VIII. Que le spectateur tienne à présent son œil en B; et puisque les rayons qu'il reçoit tiennent la même route que s'ils venaient effectivement de l'image G *g*, elle lui paraîtra sous l'angle G B *g*, qui est plus grand que l'angle E A *e*, sous lequel l'objet E *e* paraît à la vue simple.

IX. Pour mieux comparer ces deux angles, il est d'abord clair que l'angle E A *e* est égal à l'angle F A *f*, qui lui est opposé au sommet; de la même manière l'angle G B *g* est égal à l'an-

gle F B *f*, puisqu'ils sont opposés au sommet en B. Il s'agit donc de prouver que l'angle F B *f* surpasse l'angle F A *f* autant de fois que la ligne A F surpasse la ligne B F, dont celle-là AF est la distance de foyer de l'objectif, et celle-ci B F la distance de foyer de l'oculaire.

X. Pour prouver cela, il faut recourir à certaines propositions tirées de la géometrie sur la nature des secteurs. V. A. se souviendra qu'un secteur est une partie de cercle, renfermée entre deux rayons C M et C *n*, et un arc ou portion de la circonférence M *n*. Ainsi, dans un secteur, il y a trois choses à considérer; 1°. le rayon du cercle C M ou C *n*; 2°. la quantité de l'arc M *n*; et 3°. l'angle M C *n*.

XI. Considérons maintenant deux secteurs, M C *n* et *m c n*, (*Planche VIII, fig. 5*), dont les rayons C M et *c m* soient égaux entr'eux, et il est prouvé dans les élémens de géométrie, que les angles C et *c* tiennent entr'eux le même rapport que les arcs M *n* et *m n*, ou bien l'angle C est autant de fois plus grand que l'angle *c*, que l'arc M *n* est plus grand que l'arc *m n* : mais au lieu de cette façon de parler peu commode, on se sert de celle-ci, les angles C et *c* sont proportionnels aux arcs M N et *m n*, lorsque les rayons sont égaux.

XII. Considérons aussi deux secteurs M C *n* et *m c n*, *fig.* 6, dont les angles C et *c* sont égaux entr'eux, mais les rayons inégaux; et il est prouvé dans la géométrie, que l'arc *m n* est autant de fois plus grand que l'arc m *n*, que le rayon C M est plus grand que *cm*: ou bien on dit, que les arcs sont proportionnels aux rayons, lorsque les angles sont égaux. La raison en est évidente, puisque chaque arc contient autant de degrés que son angle, et que les degrés d'un grand cercle, sont plus grands que ceux d'un petit, autant de fois que le grand rayon surpasse le petit.

XIII. Considérons, enfin, aussi le cas, où dans les deux secteurs MC*n* et *m c n*, *fig.* 7, les arcs M *n* et *m n* sont égaux entr'eux, et les rayons C M et *c m* inégaux.

Alors l'angle C qui répond au grand rayon C M est plus petit, et l'angle *c*, qui répondau petit rayon *cm* plus grand, et cela dans le même rapport que les rayons. Ou bien l'angle *c*, est autant de fois plus grand que l'angle C, que le rayon C M est plus grand que le rayon *cm*: ou bien, pour parler en géometre; les angles sont réciproquement proportionels aux rayons, lorsque les arcs sont égaux.

XIV. Cette dernière considération me

conduira à mon but, en y ajoutant cette réflexion, que lorsque les angles sont forts petits, comme cela arrive dans les lunettes de poche, alors les arcs M n et m n ne diffèrent pas sensiblement de leurs cordes, ou des lignes droites M n et m n.

XV. Cela remarqué, retournons à la *fig.* 4; les triangles F A f et F B f peuvent être considérés comme des secteurs, où l'arc F f est le même de part et d'autre. Par conséquent l'angle F B f surpasse autant de fois l'angle F A f, que la distance A F surpasse la distance B F. Ou bien l'objet E paraîtra dans la lunette sous un angle autant de fois plus grand que la ditance de foyer de l'objectif A F, surpasse la distance de foyer de l'oculaire B F, ce qu'il fallait démontrer.

le 9 Février 1762.

LETTRE CCVI.

V. A. comprend aisément qu'on ne saurait attendre de grands avantages de ces petites lunettes, et j'ai déja remarqué qu'elles ne grossissent les objets que 10 fois. Si on voulait pousser leur force plus loin, non-seulement leur longueur deviendrait

trop grande pour pouvoir les porter dans la poche, mais il y aurait encore d'autres défauts plus essentiels, auxquels elles seraient sujettes ; ce qui a obligé les artistes de renoncer tout-à-fait à cette espèce de lunettes, dès qu'on demande de plus grands effets.

Le principal de ces défauts consiste dans la petitesse du champ apparent, ce qui me conduit à expliquer à V. A. cet article important, qui regarde toutes les lunettes. Quand on dirige un télescope ou une lunette vers le ciel, ou vers d'autres objets fort éloignés sur la terre, l'espace qu'on découvre paraît sous la figure d'un cercle, et on ne voit que les objets qui se trouvent dans cet espace ; de sorte que, si l'on veut voir d'autres objets, il faut changer la position de l'instrument. Cet espace circulaire, qui se présente aux spectateurs, est nommé le *champ apparent*, ou simplement le champ de l'instrument ; et V. A. conviendra aisément que c'est un grand avantage, lorsque ce champ est fort grand, et qu'un très-petit champ est au contraire un grand défaut dans ces sortes d'instrumens. Considérons deux lunettes, qu'on ait dirigées vers la lune, et que par l'une on n'en découvre que la moitié, pendant que par l'autre on la voit toute entière avec les étoiles voisines ; le champ de celle-ci est donc

beaucoup plus grand que celui de celle-là. Celle qui présente un plus grand champ nous dispense, non-seulement de l'embarras de changer si souvent de position, mais fait jouir d'un avantage très-grand; celui de pouvoir comparer, en les voyant en même tems, plusieurs parties de l'objet entr'elles.

C'est donc une des plus grandes perfections d'une lunette ou d'un télescope lorsqu'il donne un plus grand champ; il est donc très-intéressant de mesurer le champ de tous les instrumens. Dans cette vue, on se regle sur le ciel, et on détermine l'espace circulaire qu'on voit à travers une lunette, en en mesurant le diametre en degrés et minutes; ainsi, comme le diametre apparent de la pleine lune, est d'environ un demi degré. Si une lunette ou un télescope ne découvre que la lune, on dit que le diametre de son champ est d'un demi degré: si l'on ne voyait à la fois que la moitié de la lune, le diametre du champ serait un quart de degré.

La mesure des angles nous fournit donc le moyen de mesurer le champ apparent, et la chose est d'ailleurs claire d'elle-même. Supposons qu'on ne voye par l'instrument A B (*Plan. VIII, fig.* 8), que l'espace P O P, et les objets qui y sont contenus. Cet espace étant un cercle, son diametre sera sur la ligne P O P, dont le

milieu O se trouve dans l'axe de l'instrument. Tirant donc des extrêmités P P, les lignes droites P C, P C, l'angle P C P exprime le diametre du champ apparent, et la moitié de cet angle O C P, est nommée le demi-diametre du champ apparent d'un tel instrument. V. A. comprendra donc parfaitement ce qu'on doit entendre, lorsqu'on dit que le diametre du champ apparent d'un tel instrument est d'un degré; que celui d'un autre est de deux degrés, etc. ou bien, en le marquant par minutes, de 30 minutes, qui font un demi degré, ou de 15 minutes, qui font un quart de degré.

Mais pour bien juger du mérite d'une lunette ou d'un télescope, par rapport au champ apparent, il faut aussi avoir égard au grossissement de l'instrument: il faut remarquer en général, que plus un télescope ou une lunette grossit, plus le champ apparent doit nécessairement être petit; ce sont des bornes que la nature même prescrit. Concevons un instrument semblable qui grossisse 100 fois; il est évident que le diametre du champ ne saurait être de 2 degrés: car, puisque cet espace nous paraîtrait 100 fois plus grand, il ressemblerait à un espace de 200 degrés, et plus grand par conséquent que le ciel entier, qui, d'un bout à l'autre, ne contient que 180 degrés, et dont nous ne saurions découvrir à la fois que la moitié tout au plus, ou bien un espace

circulaire de 90 degrés en diametre : par-là V. A. voit qu'un télescope qui grossit 100 fois, ne saurait même nous découvrir un champ d'un degré : vu que ce degré multiplié 100 fois ferait plus que 90 degrés ; et qu'ainsi une lunette qui grossit 100 fois serait excellente, si le diametre de son champ était d'un peu moins que d'un degré : et la nature même de l'instrument ne souffre pas un effet plus grand.

Mais une autre lunette qui ne grossirait que 10 fois, serait bien défectueuse si elle ne découvrait qu'un champ d'un degré en diametre ; puisque ce champ multiplié 10 fois, ne ressemblerait qu'à une espace de 10 degrés dans le ciel, ce qui serait bien peu de chose, et bornerait trop notre vue : nous aurions bien raison de rejetter tout-à-fait cet instrument ; il sera donc fort aisé, par rapport au champ apparent, de juger de l'excellence ou du défaut de ces sortes d'instrumens, quand on aura égard à leur effet. Ainsi, lorsqu'il ne grossit que 10 fois, on peut bien conjecturer, qu'il découvre un champ de 9 degrés, puisque 9 degrés pris 10 fois, font 90 degrés, que notre vue est capable d'embrasser ; et si le diametre de son champ n'était que de 5 degrés ou encore plus petit, ce serait toujours un instrument fort défectueux. J'aurai l'honneur de prouver à V. A. que

si l'on voulait faire des lunettes de l'espèce dont j'ai donné la description, qui grossiraient plus de 10 fois, elles auraient ce défaut; leur champ apparent multiplié par le grossissement, serait fort au-dessous de 90 degrés, et ne montrerait pas même la moitié. Mais pour de moindres effets, ce défaut n'est pas si sensible, car si une telle lunette ne grossit que 5 fois, le diametre de son champ, est environ de 4 degrés qui grossi 5 fois, ressemble à un espace de 20 degrés, dont on veut bien être content; mais si l'on voulait grossir 25 fois, le diametre du champ ne serait que d'un demi degré, qui, pris 25 fois, ne donnerait que 12 degrés, ce qui serait trop peu. C'est pourquoi, quand on veut grossir beaucoup, il faut se servir d'autres arrangemens de verres, que je prendrai la liberté d'expliquer dans la suite.

le 13 Février 1761.

LETTRE CCVII.

LE jugement sur le champ apparent étant de la plus grande importance dans la construction des télescopes et des lunettes; j'en vais faire l'application aux petites lunettes sur lesquelles j'ai déja eu l'honneur d'entretenir V. A.

Le verre P A P, (*Planc. VIII, fig.* 4), est l'objectif, QPQ l'oculaire, et la droite E F, l'axe de la lunette sur lequel, à une distance très-grande, se trouve l'objet E *e*, vu par l'instrument sous l'angle E A *e*, qui représente le demi-diametre du champ apparent, puisqu'il s'étend autant de l'autre côté en bas. Le point E est donc le centre de l'espace vu par la lunette, dont le rayon E A, puisqu'il traverse perpendiculairement les deux verres, ne souffre aucune réfraction ; et ainsi, pour que ce rayon entre dans l'œil, il faut fixer l'œil quelque part sur l'axe de la lunette BF, derrière l'oculaire, ensorte que le centre de la prunelle se trouve dans la ligne BF, ce qui est une regle générale pour toutes les lunettes. Considérons à présent l'extrêmité visible de l'objet *e*, dont les rayons remplissent exactement toute l'ouverture du verre objectif P A P ; mais il suffira de n'en considérer que le rayon E A, qui passe par le milieu de l'objectif A, puisque les autres l'entourent et ne font presque que renforcer ce rayon ; de sorte que s'il entre dans l'œil, les autres, ou au moins une bonne partie y entrent aussi, et si ce rayon n'entre point dans l'œil, quoique peut-être quelques-uns des autres y entrent, ils sont trop faibles pour exciter une impression assez vive. Et ainsi nous pourrons fixer cette regle, que l'extrê-

mité *e* de l'objet n'est vue, qu'entant que le rayon *e* A, après avoir passé les deux verres, entre dans l'œil.

Il faut donc examiner avec soin la route de ce rayon *e* A. Or, puisqu'il passe par le milieu de l'objectif A, il n'y souffre aucune réfraction; conformément à la regle établie au commencement, que les rayons qui passent par le milieu d'un verre quelconque, ne sont pas détournés de leur route, ou ne souffrent point de réfraction. Donc ce rayon *e* A, après avoir passé par l'objectif, continuerait la même route pour se réunir avec les autres rayons sortis du même point *e*, au point *f* de l'image représentée par l'objectif en F*f*, le point *f* étant l'image du point *e* de l'objet: mais le rayon rencontrant en *m* le verre concave hors de son milieu, sera détourné de cette route; et au lieu d'aboutir en *f*, il prendra sa route en *m n* plus divergent de l'axe B F, comme c'est l'effet naturel des verres concaves de rendre les rayons toujours plus divergens. Pour connaître cette nouvelle route *mn*, que V. A. veuille bien se souvenir, que le verre objectif représente l'objet E*e* dans une situation renversée en F*f*, de sorte que AF est égal à la distance du foyer de ce verre, qui transporte l'objet E*e* en F*f*. Alors cette image F*f* tient lieu de l'objet à l'égard du verre oculaire Q B Q, qui,

à son tour, le transporte de nouveau en G *g*, dont la distance B G doit être aussi grande que celle de l'objet même; et pour cet effet, il est nécessaire de placer l'oculaire, de sorte que l'intervalle B F soit égal à sa distance du foyer.

Pour la grandeur de ces images, la première F *f* est déterminée par la droite *e*A*f*, tirée de *e* par le milieu A du premier verre; et l'autre G *g*, par la droite *f* B *g*, tirée du point *f* par le milieu B du second verre. Cela posé, le rayon A *m* dirigé vers le point *f* est réfracté et sort en *m n*; et cette ligne *m n* étant continuée en arrière, passe par le point *g*, puisque *m n* produit dans l'œil le même effet que s'il venait effectivement du point *g*. Maintenant, comme cette ligne *m n* s'éloigne de plus en plus de l'axe B F, où le centre de la pupille se trouve, elle ne saurait entrer dans l'œil, qu'entant que l'ouverture de la pupille s'étend jusques-là; et si l'ouverture de la pupille était réduite à rien, le rayon *m n* serait exclus de l'œil, et le point *e* de l'objet ne saurait être vu, ni même aucun autre point de l'objet hors de l'axe A E. Il n'y aurait donc point de champ apparent, et l'on ne verrait par cette lunette que le seul point E de l'objet, qui se trouve dans son axe. Il est donc clair que cette espèce de lunette ne découvre un champ, qu'autant que la pupille est ouverte,

ouverte, ensorte que, plus l'ouverture de la pupille est grande ou petite, plus aussi le champ apparent sera grand ou petit. Dans ce cas, le point *e* sera donc encore visible à l'œil, si le petit intervalle B*m* n'excede point la demi-largeur de la pupille, afin que le rayon *m n* puisse y entrer; mais aussi dans ce cas, il faut approcher l'œil du verre oculaire autant qu'on le peut : car puisque le rayon *m n* s'éloigne de l'axe F B, il échapperait à la pupille, dans une plus grande distance.

Maintenant il est aisé de déteminer le champ apparent que ces lunettes nous découvrent sur le verre oculaire : on n'a qu'à prendre l'intervalle B*m* égal à la demi largeur de la pupille, et tirer par ce point *m* et le milieu du verre objectif A, la ligne droite *m* A *e*, alors cette ligne marquera sur l'objet l'extrèmité *e*, qui sera encore visible par la lunette, et l'angle E A *e* donnera le demi diametre du champ apparent. Par-là, V. A. jugera aisément que, dès que la distance des verres A B surpasse quelquespouces, l'angle B A *m* doit devenir très-petit, puisque la ligne ou la distance B *m* n'est qu'environ la vingtième partie d'un pouce. Or si l'on voulait grossir beaucoup, il faudrait que la distance des verres devint très-considérable, et il en résulterait que le champ apparent deviendrait infiniment petit. C'est donc la nature des yeux qui

met des bornes à cette espèce de lunettes, et qui nous oblige de recourir à d'autres espèces, dès qu'on souhaite des effets considérables.

le 16 *Février* 1762.

LETTRE CCVIII.

En passant à la seconde espèce de lunettes, qu'on appelle lunettes astronomiques, je remarque qu'elles ne sont composées que de deux verres, comme celles de la première espèce; mais ici, au lieu d'un oculaire concave, on se sert d'un convexe. Je commencerai donc à donner à V. A. une idée de la construction de ces lunettes astronomiques.

L'objectif P A P (*Planc. VIII, fig.* 9), est comme dans les autres, un verre convexe, dont le foyer est en F, on fixe sur le même axe un plus petit verre convexe Q Q, de-sorte que son foyer tombe aussi dans le même point F. Tenant alors l'œil en *o*, la distance B *o* étant à-peu-près égale à la distance de foyer de l'oculaire Q Q, on verra les objets distinctement, et grossis autant de fois que la distance de foyer de l'objectif A F surpassera celle de l'oculaire B F; mais ce qu'il y a à remarquer, c'est que tous les objets paraî-

tront dans une situation renversée, de sorte que si l'on dirige cet instrument vers les maisons, on voit les toits en bas, et le pavé en haut. Comme cette circonstance n'est point agréable pour les objets terrestres, que nous ne saurions voir renversés, l'usage de ces lunettes est borné aux objets célestes, qu'il nous est fort indifférent de voir dans un sens ou dans un autre; il suffit à l'astronome de savoir que ce qu'il voit en haut se trouve réellement en bas, et réciproquement. Cependant rien n'empêche qu'on ne se serve aussi de ces lunettes pour les objets terrestres, et on s'accoutume bientôt à voir les objets renversés, pourvu qu'ils paraissent distinctement, et fort grossis.

Après cette description, je dois prouver trois choses; la première, que par cet arrangement des verres les objets doivent paraître distinctement; la seconde, qu'ils doivent paraître grossis autant de fois que la distance de foyer de l'objectif surpasse celle de l'oculaire, et cela dans une situation renversée; la troisieme enfin, qu'on ne doit pas appliquer l'œil immédiatement contre le verre oculaire, comme dans la première espèce, mais qu'il l'en faut éloigner à-peu-près à la distance de foyer de l'oculaire.

Pour le premier article, la chose se prouve de la même manière que dans le

cas précédent : les rayons *e* P, *e* P, qui sont paralleles entr'eux avant que d'entrer dans le verre objectif, se réunissent par la réfraction dans le foyer de ce verre en F ; ainsi, il faut que le verre oculaire rétablisse le parallélisme entre ces rayons, attendu que la vision distincte exige que les rayons, partis de chaque point, soient à-peu-près paralleles entr'eux lorsqu'ils entrent dans l'œil. Or, le verre oculaire, ayant son foyer en F, est placé de sorte qu'il rend les rayons F M, F M, par la réfraction, paralleles entr'eux ; et conséquemment l'œil recevra les rayons N *o*, N *o*, paralleles entr'eux.

2. Pour le second article, considérons l'objet en E *e*, (*Planc. VIII, fig.* 10), mais ensorte que la distance E A soit presqu'infinie. L'image de cet objet représentée par le verre objectif sera donc F *f*, située à la distance de foyer de ce verre A F, et déterminée par la droite *e* A *f*, tirée par le milieu du verre. Cette image F *f*, qui est renversée, tient lieu d'objet par rapport au verre oculaire, et puisqu'elle se trouve dans son foyer, la seconde image sera de nouveau éloignée à l'infini par la réfraction de ce verre, et tombera par exemple en G *g*, la distance A G devant être conçue comme infinie, de même que A E. Or, pour déterminer la grandeur de cette image, on n'a qu'à tirer par le milieu B

du verre et l'extrêmité *f*, la droite B*fg*. Maintenant cette seconde image G*g*, étant l'objet immédiat de la vision de celui qui regarde dans la lunette, il est d'abord clair que cette représentation est renversée ; et puisqu'elle est infiniment éloignée, elle paraîtra sous un angle GB*g*. Mais l'objet lui-même E*e* paraîtra à la vue simple sous l'angle EA*e*, où V. A. comprend, sans que je l'avertisse, qu'il est indifférent de prendre les points A et B, pour avoir les angles visuels EA*e* et GB*g*, à cause de l'éloignement infini de l'objet. A présent V. A. voit ici, comme dans le cas précédent, que les triangles FA*f* et FB*f* peuvent être regardés comme des secteurs circulaires, la ligne F*f* étant l'arc de l'un et de l'autre, puisque les angles mêmes sont si petits, qu'on ne se trompe pas sensiblement en prenant les cordes pour les arcs. Puis donc que les rayons de ces deux secteurs sont les lignes AE et BF, les arcs étant égaux entr'eux, il s'ensuit, de ce que j'ai prouvé ci-dessus fort amplement, que les angles FA*f*, (ou bien EA*e*) et FB*f* (ou bien GB*g*) tiennent entr'eux le même rapport que les rayons BF et AF. Donc l'Angle GB*g*, sous lequel on voit l'objet par la lunette, surpasse autant de fois l'angle EA*e* sous lequel on voit l'objet à la vue simple, que la ligne AF surpasse la ligne BF ;

et c'est la démonstration de mon second article. Je suis obligé de remettre celle du troisieme à l'ordinaire prochain.

le 20 Février 1762.

LETTRE CCIX.

Pour m'acquitter par rapport au troisieme article, sur les lunettes astronomiques, qui regarde le lieu de l'œil derrière la lunette, je remarque que cet article est le plus étroitement lié avec le champ apparent, et que c'est précisément le champ qui nous oblige de tenir l'œil dans le lieu marqué, de sorte que si on l'approchait ou l'éloignait davantage, on ne découvrirait plus un si grand champ.

L'étendue du champ étant un article si essentiel et si important pour toutes les lunettes, il est également important de bien fixer l'endroit de l'œil, d'où il découvre le plus grand champ. Si on appliquait l'œil immédiatement au verre oculaire, on aurait à-peu-près le même champ qu'on a dans les lorgnettes, et qui devient d'une petitesse insupportable, dès que le grossissement est considérable. C'est donc un grand avantage pour les lunettes astronomiques, qu'en éloignant l'œil du verre oculaire, le champ apparent augmente jusqu'à un certain point, et c'est préci-

sément la raison qui rend ces lunettes susceptibles de plus grands grossissemens, pendant que celles de la première espèce ont été très-bornées à cet égard. V. A. a déja appris qu'avec ces lunettes, on pousse le grossissement au-delà de 200 fois, ce qui leur donne un objet de préférence sur celles de la première espèce, qui pourraient à peine grossir dix fois; et le petit inconvénient de la situation renversée doit s'évanouir tout-à-fait, par rapport à ce grand avantage.

Je tâcherai donc d'expliquer à V. A. cet important article aussi clairement qu'il me sera possible.

1. L'objet E *e*, (*Planc. VIII*, *fig.* 11), étant infiniment éloigné, soit *e* son extrêmité encore visible par la lunette, dont les verres sont P A P et Q B Q, disposés sur le commun axe E A B O, il s'agit de bien considérer la route que tiendra le seul rayon qui passe de l'extrêmité de l'objet *e*, par le milieu A du verre objectif. V. A. se souviendra encore que les autres rayons qui tombent du point *e* sur le verre objectif, ne font qu'accompagner et renforcer le rayon proposé *e*A, qui est le principal par rapport à la vision.

2. Or ce rayon *e* A, passant par le milieu du verre PP, ne souffrira aucune inflexion, mais continuera sa route en ligne droite A*fm*, et passant par l'extrêmité de l'ima-

ge F f, atteindra l'oculaire au point m; où il est bon d'observer que, si la grandeur du verre oculaire ne s'étendait point jusqu'à m, ce rayon ne parviendrait jamais à l'œil, et le point e serait invisible. C'est-à-dire, il faudrait prendre l'extrémité e plus proche de l'axe, pour que le rayon A f m rencontrât le verre oculaire,

3. Maintenant ce rayon A m sera rompu, ou réfracté, par le verre oculaire, d'une manière qu'il n'est pas difficile de découvrir. Nous n'avons qu'à considérer la seconde image G g, quoiqu'elle soit éloignée à l'infini, il suffit de savoir que la droite B f prolongée, passe par l'extrémité g de la seconde image G g, qui est l'objet immédiat de la vue. Cela remarqué, il faut que le rayon rompu prenne la route nO, qui étant prolongée, passe par le point g.

4. Puis donc que les deux lignes On et Bf concourent à l'infini en g, elles seront paralleles entr'elles, d'où nous tirons une méthode plus aisée pour déterminer la position du rayon rompu nO, on n'a qu'à le mener parallele à la ligne Bf.

5. De-là il est très évident que le rayon n O concoure quelque part avec l'axe de la lunette en O, et puisqu'ordinairement, lorsque le grossissement est grand, le point F est beaucoup plus proche du verre QQ que du verre PP, l'intervalle Bm sera

tant soit peu plus grand que l'image Ff; et puisque la ligne n O est parallele à fB, la ligne BO sera presque égale à BF, c'est-à dire, à la distance de foyer du verre oculaire.

6. Si donc l'on tient l'œil en O, il recevra non-seulement les rayons qui viennent du milieu de l'objet E, mais aussi ceux qui viennent de l'extrêmité e, et par conséquent aussi ceux qui partent de tous les points de l'objet, l'œil recevrait même à la fois les rayons B O et nO, quand même la pupille serait infiniment rétrécie. Dans ce cas donc, le champ apparent ne dépend point de l'ouverture de la pupille, pourvu que l'œil soit placé en O; mais dès qu'il s'en éloigne, il doit perdre considérablement dans le champ apparent.

7. Si le point m. n'était pas à l'extrêmité du verre oculaire, il transmettrait des rayons encore plus éloignés de l'axe, ainsi la lunette découvrirait un plus grand champ. Donc pour déterminer le vrai champ apparent que la lunette est capable de découvrir, qu'on tire du milieu A du verre objectif vers l'extrêmité du verre oculaire m, la ligne droite A m, qui continuée à l'objet y marquera en e l'extrêmité visible; conséquemment l'angle EAe, ou bien B Am, donne le demi-diametre du champ apparent, qui est par consé-

quent d'autant plus grand que l'étendue du verre oculaire est plus grande.

8. Donc, comme dans la première espèce, le champ apparent dépendait uniquement de l'ouverture de la pupille ; et que dans ce cas, il dépend uniquement de l'ouverture du verre oculaire, il y a une différence très-essentielle entre ces deux espèces, à l'avantage de la dernière. La figure que j'ai employée à la démonstration de cet article sur le lieu de l'œil et le champ apparent, est aussi très-propre à éclaircir d'avantage les précédens.

Quand V. A. veut bien considérer que le verre objectif transporte l'objet E e en F f, et que le verre oculaire le transporte de F f en G g ; cette image G g étant fort éloignée de l'objet immédiat de la vue, doit être vue distinctement, puisqu'un bon œil demande une grande distance pour voir ainsi ; ce qui était le premier article.

Pour le second article, il est d'abord évident que, puisqu'au lieu du vrai objet E e, on voit par la lunette l'image G g, elle sera renversée. Ensuite cette image est vue de l'œil placé en O sous l'angle G O g, ou B O n, pendant que l'objet même E e paraîtra à la vue simple sous l'angle E A e ; donc la lunette grossit autant de fois que l'angle B O n est plus grand que l'angle E A e. Or, puisque la

ligne nO est parallele à Bf, l'angle BOn est égal à l'angle FBf, et l'angle EAe est égal à son opposé au sommet FAf, d'où le grossissement doit être jugé par le rapport entre les angles FBf et FAf, ainsi comme l'angle FBf contient l'angle FAf, autant que la ligne AF, ou la distance du foyer de l'objectif, contient la ligne BF ou la distance du foyer de l'oculaire; le grossissement sera donc exprimé par le rapport de ces deux distances. Ce qui est une preuve suffisante que les élémens de géométrie peuvent être employés à des recherches d'une nature tout-à-fait différente, ce que V. A. reconnaîtra avec bien de la satisfaction.

le 23 Février 1762.

LETTRE CCX.

Maintenant V. A. connaîtra, non-seulement combien de fois grossit une lunette proposée, mais la construction des lunettes qui grossissent autant de fois qu'on veut. Dans le premier cas, on n'a qu'à mesurer la distance du foyer, tant du verre objectif, que de l'oculaire, pour voir combien de fois l'une surpasse l'autre, ce qui se fait par la division, et le quotient marque le grossissement.

Ayant donc une lunette dont la distance de foyer de l'objectif est de deux pieds, et celle de l'oculaire d'un pouce, il faut voir combien de fois un pouce est entretenu en deux pieds. Il faut déja savoir qu'un pied contient douze pouces, et qu'ainsi, deux pieds en font vingt-quatre, qu'il faut diviser par un. Or, quelque nombre qu'on divise par un, le quotient lui est toujours égal, ou si l'on demande combien un pouce est contenu en vingt-quatre pouces, on répond sans balancer vingt-quatre fois, par conséquent la lunette en question grossit vingt-quatre fois, c'est-à-dire, nous représente les objets éloignés de la même manière que s'ils étaient vingt-quatre fois plus grands qu'ils ne le sont ; ou bien, on les verra par la lunette sous un angle vingt-quatre fois plus grand qu'à la vue simple.

Considérons une autre lunette astronomique, dont la distance de foyer du verre objectif est de 32 pieds, et celle de l'oculaire de 3 pouces, et V. A. verra que ces deux verres doivent être éloignés l'un de l'autre de 32 pieds et 3 pouces, attendu que, dans toutes les lunettes astronomiques, la distance entre les verres est égale à la somme des deux distances de foyer des verres, comme il est clair par ma lettre précédente.

Pour trouver à présent combien de fois

cette lunette grossit, il faut diviser 32 pieds par 3 pouces, et, pour cet effet, convertir ces 32 pieds en pouces, en les multipliant par 12

32 pieds
12

64
32

ce qui donnera 384 pouces
ensuite, on divisera ces 384 pouces par 3

384 | 3

et le quotient 128 marque que la lunette proposée grossit 128 fois, ce qui est sans doute un grossissement très-considérable.

Réciproquement donc, pour construire une lunette qui grossisse un nombre donné de fois, par exemple, 100 fois, il faut employer deux verres convexes, dont la distance de foyer de l'un soit 100 fois plus grande que celle de l'autre; alors l'un donnera l'objectif, et l'autre l'oculaire. il faut ensuite disposer ces deux verres sur un même axe, ensorte que leur distance soit égale à la somme des deux distances de foyer; ou bien on les fixe dans un tuyau de cette longueur, et

alors, l'œil étant derrière l'oculaire, à la distance de son foyer, verra les objets 100 fois plus grands.

On pourra donc remplir cette condition d'une infinité de manières différentes, en prenant un verre oculaire à volonté, et le joignant avec un objectif dont la distance de foyer soit 100 fois plus grande. Ainsi prenant l'oculaire d'un pouce de foyer, l'objectif doit être de 100 pouces de foyer, et la distance des verres 101 pouces. Or, en prenant l'oculaire de 2 pouces de foyer, l'objectif doit avoir le sien à la distance de 200 pouces, et celle entre les verres sera de 202 pouces. Si l'on prenait l'oculaire de 3 pouces de foyer, la distance de foyer de l'objectif devrait être de 300 pouces, et celle entre les verres de 303 pouces. Et si l'on prenait l'oculaire de 4 pouces de foyer, l'objectif devrait avoir la distance de foyer de 400 pouces, et celle entre les verres serait de 404 pouces, et ainsi de suite, en donnant toujours plus de longueur à la lunette. Mais si, au contraire, on ne donnait à l'oculaire qu'un demi-pouce de foyer, l'objectif devrait avoir 100 demi-pouces, c'est-à-dire, 50 pouces de foyer, et la distance entre les verres ne serait que 50 pouces et demi, ce qui fait un peu plus de quatre pieds. Et si l'on prenait l'oculaire d'un quart de pouce, l'ob-

jectif n'aurait que 100 quarts ou 25 pouces, et la distance entre les deux verres 25 pouces et un quart, ce qui serait un peu plus que 2 pieds.

Voilà donc plusieurs manières de produire le même grossissement de 100 fois, et si nous avions la liberté du choix, V. A. n'hésiterait pas à donner la préférence à la dernière, comme la plus courte; où la lunette n'étant que de 2 pieds à-peu-près, est bien plus aisée à manier qu'une beaucoup plus longue.

Aussi personne ne balancerait à préférer les lunettes plus courtes, si toutes les circonstances étaient les mêmes, et que ces différentes sortes représentassent les objets avec le même degré de perfection. Mais, quoique toutes produisent le même grossissement, la représentation n'en est pas également nette et claire; celle de 2 pieds grossit bien 100 fois comme les autres, mais en regardant par cette lunette, les objets paraîtront non-seulement obscurs, mais mal terminés et confus, ce qui est sans doute un très-grand défaut. L'avant dernière lunette, dont l'objectif est de 50 pouces de foyer, est moins sujette à ses défauts, cependant l'obscurité et la confusion y sont encore insupportables: et ces défauts diminuent à mesure qu'on se sert de plus grands verres objectifs, et seront déja beaucoup moindres, lors-

qu'on employera un verre objectif de 300 pouces, avec un oculaire de 3 pouces de foyer ; en augmentant ces mesures, la représentation devient encore plus nette et plus claire, desorte qu'à cet égard, les longues lunettes sont préférables aux courtes, quoique d'ailleurs elles soient moins commodes. Cette circonstance m'ouvre la carrière pour expliquer encore à V. A. deux articles très-essentiels dans la théorie des lunettes ; l'un regarde la clarté ou le degré de lumière, dont les objets sont vus ; et l'autre, la netteté d'expression dont ils sont représentés. Sans ces deux qualités, tout grossissement, quelque grand qu'il soit, ne nous apporte aucun avantage pour la contemplation des objets.

le 27 Février 1762.

LETTRE CCXI.

POUR juger du degré de clarté dont les lunettes nous représente les objets, je me servirai des mêmes principes que j'ai eu l'honneur d'expliquer à V. A., lorsque j'ai traité le même sujet, par rapport aux microscopes.

Il faut d'abord faire attention qu'il ne s'agit

s'agit point dans cette recherche du degré de lumière qui réside dans les objets mêmes, et qui peut être très-différent, tant dans les différens corps, en ce qu'ils sont par leur nature plus ou moins clairs, que dans un même corps, en différentes circonstances. Les mêmes corps, lorsqu'ils sont éclairés du soleil, ont sans doute plus de lumière que lorsque le ciel est couvert, et de nuit leur lumière est tout-à-fait éteinte ; mais différens corps, éclairés par la lumière, peuvent différer beaucoup en clarté, selon que leurs couleurs sont plus ou moins vives. Il n'est pas question de cette lumière, ou de cette clarté qui se trouve dans les objets mêmes ; mais, qu'elle soit forte ou faible, on dit qu'une lunette représente les objets en pleine clarté, lorsque nous les voyons par son moyen, aussi clairement que par la vue simple ; desorte que si l'objet est obscur, on ne saurait prétendre que la la lunette nous le représente avec éclat.

Ainsi, par rapport à la clarté, une lunette est parfaite, lorsqu'elle nous représente les objets avec autant de clarté que si nous les regardions à la vue simple. Ce qui arrive, comme dans les microscopes, lorsque toute l'ouverture de la pupille est remplie par les rayons qui viennent de

chaque point de l'objet, après avoir été transmis par la lunette. Tant qu'une lunette fournit assez de rayons pour remplir toute louverture de la pupille, on ne saurait désirer plus de clarté; et quand elle fournirait en plus grande abondance, cela serait inutile, puisqu'il n'en entrerait également pas davantage dans lœil.

Il faut donc avoir principalement égard ici à l'ouverture de la pupille, qui étant variable, empêche de rien fixer là-dessus, si l'on ne se régle sur une certaine ouverture, qui est suffisante, lorsque la pupille, dans l'état de la plus grande contraction, est remplie de rayons, et, pour cela, on suppose communément le diametre de la pupille d'une ligne, dont 12 sont un pouce; on se contente souvent même de la moitié, en ne donnant à la pupille que la moitié d'une ligne, et quelque fois moins encore.

Si V. A. considère que la lumière du soleil surpasse 300,000 fois celle de la lune, qui pourtant est assez considérable, elle jugera bien qu'une petite diminution de clarté n'est pas de grande conséquence dans la contemplation des objets. Après cela, il ne me reste qu'à examiner les rayons que la lunette transmet dans l'œil, pour les comparer avec la pupille, et considérer que les rayons qui viennent d'un seul point de l'objet, *Plan*. 9,

fig. 1, celui, par exemple, qui se trouve dans l'axe de la lunette.

I. L'objet étant éloigné à l'infini, les rayons qui en tombent sur la surface du verre objectif PAP, sont paralleles entr'eux; donc tous les rayons qui viennent du centre de l'objet, seront contenus entre les lignes LP, LP paralleles à l'axe EA: tous ces rayons ensemble sont nommés le faisceau des rayons qui tombent sur le verre objectif, et l'épaisseur de ce faisceau est égale à l'étendue ou à l'ouverture du verre objectif, dont le diametre est PAP.

II. Ce faisceau de rayons se change par la réfraction du verre objectif, dans une figure conique ou pointue PFP, et après s'être croisé dans le foyer F, il forme un nouveau cône *m* F *m*, terminé par le verre oculaire, où il est évident que la base de ce cône *m m*, est autant de fois plus petite que la largeur du faisceau PP, que la distance FB est plus courte que la distance AF.

III. Maintenant ces rayons F *m*, F *m*, en passant par le verre oculaire QBQ, redeviennent de nouveau paralleles entr'eux, et forment le faisceau de rayons *n o*, *n o*, qui entrent dans l'œil, et y dépeignent l'image du point de

ment même nous montre, combien de fois le faisceau LPLP, est plus large que celui *nono*, qui entre dans l'œil.

VII. Puis donc que la largeur *nn* ou *oo* doit être une ligne ou au moins une demi-ligne, l'ouverture du verre objectif PP doit au moins contenir autant de demi-lignes, que le grossissement indique; ainsi quand la lunette doit grossir 100 fois, l'ouverture de son verre objectif doit avoir pour diametre 100 demi-lignes, ou 50 lignes, qui sont 4 pouces et deux lignes.

VIII. V. A. voit donc que, pour éviter l'obscurité, il faut que l'ouverture de l'objectif soit d'autant plus grande, que le grossissement est grand. Et conséquemment, si le verre objectif qu'on veut employer, n'est pas susceptible d'une telle ouverture, la lunette sera défectueuse pour la clarté de la représentation.

Maintenant il est assez clair que, pour de grands grossissemens, on ne saurait employer de petits objectifs, dont la distance de foyer soit trop petite, puisqu'un verre formé par des arcs de petits cercles, ne saurait avoir une grande ouverture.

le 1 Mars 1762.

LETTRE CCXII.

V. A. vient de voir que le grossissement détermine la grandeur ou l'étendue du verre objectif, afin que les objets paraissent avec un degré suffisant de clarté. Cette détermination ne regarde que la grandeur ou l'ouverture de l'objectif, cependant sa distance de foyer s'en ressent aussi, de sorte que plus le verre se trouve grand, plus la distance de foyer doit l'être.

La raison en est évidente, puisque pour former un verre dont la distance de foyer est par exemple de deux pouces, ses deux faces doivent être des arcs de cercle, dont le rayon est aussi environ de deux pouces : j'ai donc représenté (*Planc. IX, fig.* 2), deux verres P et Q, où les arcs sont décrits avec un rayon de deux pouces. Le verre P étant plus épais, est bien plus grand que celui Q, mais j'expliquerai dans la suite, que les verres épais sont assujettis à d'autres inconvéniens, qui sont même si grands, qu'il faut renoncer entiérement à leur usage. Le verre Q sera donc plus propre pour la pratique, puisqu'il est composé de moindres arcs du même cercle, et comme sa distance de foyer est de deux

pouces, son étendue, ou ouverture mn pourrait à peine surpasser un pouce. D'où l'on peut établir cette regle générale, que la distance de foyer d'un verre, doit toujours être plus de deux fois plus grande que le diametre de son étendue mn, ou que l'ouverture d'un verre doit nécessairement être plus petite que la moitié de sa distance de foyer.

Ayant donc remarqué que pour grossir 100 fois, l'ouverture de l'objectif doit surpasser 4 pouces, il s'ensuit que la distance de foyer doit surpasser 3 pouces; et je ferai voir bientôt que le double ne suffit pas, et qu'il faut même augmen er la distance de foyer de ce verre, au-delà de 300 pouces. La netteté d'expression de l'image demande cette grande augm ntation, dont je parlerai dans la suite; je me contente de remarquer ici, qu'à l'égard de la figure géométrique du verre, l'ouverture ne saurait être plus grande que la moitié de sa distance de foyer.

Je m'étendrai donc ici un peu plus en détail sur l'ouverture de l'objectif que chaque grossissement exige; et je remarque d'abord que, quoiqu'un degré suffisant de clarté demande une ouverture de 4 pouces, lorsque la lunette doit grossir 100 fois, on se contente dans les lunettes astronomiques d'une de 3 pouces; puisque la diminution de clarté en devient

peu sensible ; d'où les artistes ont établi la regle, que pour grossir 100 fois, il faut que l'ouverture de l'objectif soit de 3 pouces, et pour les autres grossissemens à proportion. Ainsi, pour grossir 50 fois, il suffit que l'ouverture de l'objectif soit d'un pouce et demi ; pour grossir 25 fois, trois quarts de pouce suffisent, et ainsi des autres grossissemens.

L'on voit par-là qu'une très-petite ouverture de l'objectif est suffisante pour les petits grossissemens, et que par conséquent, la distance de foyer peut être très-médiocre. Mais si l'on veut grossir 200 fois, l'ouverture de l'objectif doit être de 6 pouces, ou d'un demi pied, ce qui demande déja un très-grand verre, dont la distance de foyer doit surpasser même 100 pieds, pour obtenir une expression nette et bien déterminée : c'est pourquoi les grands grossissemens demandent des lunettes si longues, au moins selon l'arrangement ordinaire des verres que j'ai l'honneur d'expliquer à V. A. Car depuis quelques tems, on a travaillé avec beaucoup de succès à diminuer cette longueur excessive. Cependant l'ouverture de l'objectif doit suivre la regle que je viens d'établir, puisque la clarté en dépend nécessairement.

Si donc l'on voulait faire une lunette qui grossit 400 fois, l'ouverture de l'ob-

jectif devrait toujours être de 12 pouces ou d'un pied, quelque petite qu'on pût rendre la distance des foyers : et si l'on voulait grossir 4000 fois, l'ouverture de l'objectif devrait être de 10 pieds, ce verre serait donc bien grand et même trop, pour que nos artistes pussent l'exécuter, et c'est pourquoi nous ne saurions espérer de porter jamais le grossissement aussi loin, à moins qu'un Prince ne voulut faire les dépenses nécessaires pour former et travailler de si grands verres, encore peut-être n'y réussirait-on pas.

Cependant une lunette qui grossirait 4000 fois, devrait nous découvrir bien des merveilles dans le ciel : la lune nous paraîtrait 4000 fois plus grande que nous ne la voyons à la vue simple ; ou bien, nous la verrions comme si elle était 4000 fois plus près de nous qu'elle n'est. Voyons donc jusqu'à quel degré nous pourrions y distinguer les différens corps qui s'y trouvent. On estime la distance de la lune de 52,000 milles d'Allemagne, dont la 4000 partie fait 13 milles, ainsi cette lunette nous la ferait voir comme si nous n'en étions éloignés que de 13 milles, et par conséquent, nous pourrions y distinguer les mêmes choses, que nous distinguons sur des objets éloignés à la même distance ; or, sur une montagne, on peut bien voir d'autres montages qui en

sont éloignées au-delà de 13 milles. Il n'y a donc point de doute, que nous ne découvrissions sur la surface de la lune, quantité de choses dont nous serions bien surpris ; mais pour décider si la lune est habitée par des créatures semblables à celles de la terre, une distance de 13 milles est trop grande encore ; il faudrait avoir pour cet effet une lunette qui grossit encore 10 fois davantage, et par conséquent 40000 fois, dont l'objectif devrait avoir une ouverture de 100 pieds, ce que l'adresse des hommes n'exécutera jamais. Mais avec une lunette semblable, nous verrions la lune comme si elle n'était pas plus éloignée de nous que Berlin de Spandeau, et de bons yeux pourraient bien y voir des hommes, s'il y en avait, mais pourtant trop peu distinctement, pour s'en assurer entiérement.

Comme nous devons nous contenter de souhaitsà cet égard, le mien serait plutôt d'avoir tout d'un tems une lunette qui grossit 100000 fois ; la lune se présenterait alors comme si elle n'était éloignée de nous que d'un demi-mille. l'ouverture de l'objectif de cette lunette devrait donc être de 250 pieds, et nous verrions au moins les grosses bêtes qui peuvent être dans la lune.

le 6 Mars 1762.

LETTRE CCXIII.

La netteté de l'expression est un article si important dans les qualités d'une lunette qu'elle semble l'emporter sur tous ceux dont j'ai eu déja l'honneur de rendre compte à V. A., puisque tout le monde convient qu'une lunette, qui ne représente pas nettement les images des objets, est fort défectueuse. J'ai donc à expliquer les raisons de ce défaut de netteté, afin qu'on puisse penser avec plus de succès aux moyens d'y remédier.

Elles paraissent d'autant plus cachées, que les principes que j'ai établis jusqu'ici n'en découvrent point l'origine: en effet, ce défaut vient de ce qu'un des principes dont je me suis servi jusqu'ici, n'est point vrai à la rigueur, quoiqu'il ne s'écarte que très-peu de la vérité.

V. A. se souvient que j'ai posé pour principe, qu'un verre convexe rassemble dans un point de l'image tous les rayons qui partent d'un point de l'objet : si cela était vrai, à la rigueur, les images représentées par les verres, seraient aussi bien terminées que l'objet même, et il n'y aurait point à craindre de défaut à cet égard.

vers les bords N N du verre, souffrent une réfraction un peu différente, qui les réunit, non dans le point F, mais dans un autre point G plus proche du verre, et ces rayons représentent une autre image *Gg*, différente de la première *Ff*.

IV. Remarquons bien cette circonstance particulière, à laquelle je n'ai pas fait attention auparavant; c'est que les rayons qui passent par le verre, vers ses bords, représentent une autre image *Gg*, que ceux qui passent par son milieu M A M.

V. Si les rayons E N, E N s'éloignaient encore plus du milieu A, et qu'ils passassent par les extrêmités mêmes P et P du verre, leur réunion s'approcherait encore davantage du verre, et formerait une nouvelle image plus proche du verre que *Gg*.

VI. V. A. jugera aisément par-là que la première image *Ff*, qu'on nomme la principale, n'est formée que par les rayons qui sont presqu'infiniment proches du milieu A, et que dès que les rayons s'en écartent vers les bords du verre, il se forme une image particulière plus proche du verre, jusqu'à ce que ceux qui passent près les bords, forment la dernière *Gg*.

VII. Donc, tous les rayons qui passent

par le verre P P, représentent une infinité d'images disposées entre F *f* et *G g*, et à chaque distance de l'axe, la réfraction du verre produit une image particulière, de sorte que l'espace entre F et G est rempli d'une file d'images.

VIII. Aussi cette file d'images est-elle nommée la diffusion de l'image, et quand tous ces rayons entrent ensuite dans quelque œil, il est naturel que la vision en soit d'autant plus troublée, que l'espace F G, par lequel l'image est répandue est plus considérable : si cet espace F G se réduisait à rien, aucune confusion ou défaut de netteté ne serait à craindre.

IX. Plus les arcs P A P et P B P sont de grandes parties des cercles dont ils sont pris, plus aussi l'espace de diffusion F G est grand ; d'où V. A doit comprendre pourquoi il faut rejetter tous les verres trop épais, où ces arcs, qui forment les faces du verre, sont des parties considérables de cercles ; comme dans la (*fig.* 4, *Plan.* IX,) où les arcs P A P et P B P, sont la quatrième partie de la circonférence entière, desorte que chacun contient 90 degrés, ce qui par conséquent produirait une confusion insupportable.

X. Il faut donc que les arcs qui forment

les faces d'un verre, contiennent beaucoup moins de 90 degrés : s'ils en contenaient 60, la diffusion de l'image serait encore insupportable. Les auteurs, qui ont écrit sur cette matière, ne veulent admettre que 30 degrés tout au plus : et il y en a qui se bornent à 20. On voit un verre semblable dans la *fig.* 5, *Plan. IX*, où les arcs PAP et PBP ne contiennent que 20 degrés, chacun n'étant que la 18me. partie de la circonférence entière d'où ils sont pris.

XI. Mais si ce verre doit tenir lieu d'objectif dans une lunette, il faut que les arcs PAP et PBP contiennent encore beaucoup moins de degrés. Car quoique la diffusion de l'image soit sensible en elle-même, le grossissement la multiplie autant de fois que l'objet même. Ainsi, plus le grossissement est grand, plus le nombre de degrés que les faces embrassent doit être petit.

XII. Quand la lunette doit grossir 100 fois, V. A. se souvient, que l'ouverture PP de l'objectif doit être de 3 pouces, et sa distance de foyer 360 pouces, qui est égale aux rayons dont les deux arcs PAP et PBP sont décrits ; d'où il s'ensuit que chacun de ces deux arcs ne contient qu'un demi-degré ; et c'est la netteté dans l'expression qui exige une si petite mesure ; si l'on vouloit grossir 200

fois, un demi-degré serait encore trop, et alors la mesure des arcs ne devrait pas surpasser le tiers d'un degré. Cependant cet arc doit recevoir une étendue de 6 pouces, ainsi le rayon du cercle doit être d'autant plus grand, et par conséquent aussi la distance de foyer. C'est là véritablement pourquoi les grands grossissemens demandent des lunettes si considérablement longues.

le 9 Mars 1762.

LETTRE CCXIV.

Lorsque l'espace de diffusion d'un verre objectif est trop grand, pour que le défaut dans la netteté de l'image qui en résulte soit insupportable, rien n'est plus aisé que d'y remédier ; on n'a qu'à couvrir le verre d'un cercle de carton, percé d'un trou vers le centre, desorte que le verre ne puisse transmettre d'autres rayons, que ceux qui y tombent par le trou, et que ceux qui passaient auparavant par les bords du verre en soient exclus : car puisqu'il n'y a que les rayons qui soient transmis vers le milieu du verre, plus le trou sera petit, plus l'espace de diffusion le sera : ainsi, en diminuant le trou,

trou, on peut rendre l'espace de diffusion aussi petit qu'on veut.

Il en est de même alors que si le verre n'était pas plus grand que le trou, ainsi la partie couverte par le carton devient inutile, et c'est le trou qui détermine l'ouverture du verre : aussi se sert-on de ce remede pour donner aux verres objectifs autant d'ouverture que l'on juge à propos.

Dans la *fig.* 6, *Plan*. IX, PP est le verre objectif, devant lequel est placé le carton N N, percé du trou M M, qui est l'ouverture du verre. Cette ouverture MM est ici à-peu-près la moitié de ce qu'elle serait si l'on ôtait le carton, ainsi l'espace de diffusion est beaucoup plus petit : on remarque que l'espace de diffusion pour ce cas-ci n'est que le quart de celui d'auparavant, un trou M M, qui ne serait que le tiers de P P, rendrait l'espace de diffusion 9 fois plus petit : ainsi l'effet de ce remede est très-considérable, et pour peu qu'on couvre les bords du verre, l'effet en devient très-sensible.

Si donc une lunette a le défaut que les objets ne paraissent pas assez nets, puisqu'une file d'images qui se confondent ensemble, doit nécessairement produire de la confusion, on n'a qu'à rétrécir l'ouverture du verre objectif par un carton pareil, et cette confusion s'évanouira infailli-

blement. Mais on tombe dans le défaut, tout aussi fâcheux, c'est que le degré de clarté en est diminué. V. A. se souvient que chaque grossissement exige une certaine ouverture de l'objectif, afin qu'il y soit transmis autant de rayons qu'il en faut pour nous procurer une clarté suffisante ; il est donc bien fâcheux, qu'en remédiant à un défaut, on s'expose à un autre ; et il faut absolument qu'une bonne lunette fournisse assez de clarté, sans nuire à la netteté, dans la représentation des objets.

Mais n'y aurait-il pas moyen de diminuer, et de réduire même à rien l'espace de diffusion des verres objectifs, sans en diminuer l'ouverture ? Telle est la grande question à laquelle on travaille depuis quelque tems, et dont la solution nous promet les plus grands progrès dans la dioptrique. J'aurai donc l'honneur d'expliquer à V. A. les moyens que les savans ont imaginés pour y parvenir.

Comme le foyer des rayons qui passent par le milieu d'un verre convexe, est plus éloigné du verre que le foyer des rayons qui passent vers les bords, on a remarqué que les verres concaves produisent un effet contraire ; ce qui a occasionné de rechercher s'il ne serait pas possible de combiner un verre convexe avec un verre concave, de façon que l'espace de diffusion fut entiérement anéantie?

et que d'ailleurs ce verre composé produisit le même effet qu'un objectif ordinaire simple? V. A. sait que les verres concaves sont aussi bien mesurés par leur distance de foyer, que les verres convexes; avec cette différence, que le foyer des concaves n'est qu'imaginaire, et tombe devant le verre, pendant que le foyer des verres convexes est réel et tombe derrière eux. Cela remarqué, on raisonne de la manière suivante.

I. Si l'on place (*Planche IX, fig. 7*) derrière un verre convexe PAP, un verre concave QBQ de la même distance de foyer, les rayons que le verre convexe réunirait dans son foyer, seront refractés par le concave, desorte qu'ils redeviennent paralleles entr'eux, comme ils l'étaient avant que de passer par le verre convexe.

II. Dans ce cas donc, le verre concave détruit l'effet du convexe, et il en est de même que si les rayons continuaient leur route naturelle, sans avoir éprouvé aucune réfraction. Car le verre concave ayant son foyer au même point F, rétablit dans le parallélisme les rayons qui voudraient concourir au point F.

III. Si la distance de foyer du verre concave était plus petite que celle du verre convexe, il produirait un plus grand

effet, et rendrait les rayons divergens comme dans la *fig.* 8, *Planche IX*; les rayons incidens paralleles LM, EA, LM, passant par les deux verres, prennent les routes NO, BF, NO, qui sont divergentes entr'elles. Ces deux verres ensemble produisent donc le même effet qu'un verre concave simple, qui imprimerait aux rayons incidens paralleles la même divergence. Deux verres pareils joints ensemble, dont le concave a une plus petite distance de foyer que le convexe, sont donc équivalens à un seul verre concave.

IV Mais si le verre concave QQ (*Plan. IX, fig.* 9), a une plus grande distance de foyer que le verre convexe PP, il n'est pas même suffisant de rendre paralleles entr'eux les rayons que le verre convexe seul réunirait dans son foyer F: ces rayons demeurent donc convergens, mais leur convergence sera diminuée par le verre concave, ensorte que les rayons, au lieu de se réunir en F, se réuniront dans le point O plus éloigné.

V. Ces deux verres joints ensemble produiront donc le même effet qu'un seul verre convexe simple, qui aurait son foyer en O, puisqu'il réunirait les rayons paralleles LM, EA, LM également dans le même point; il est donc clair qu'il est possible de combiner d'une infinité de

manières, deux verres, l'un convexe et l'autre concave, desorte que leur combinaison soit équivalente à un verre convexe donné.

VI. Un tel verre objectif double, pourra donc être employé dans les lunettes, au lieu du simple auquel il est équivalent, et l'effet, par rapport au grossissement, sera tout-à-fait le même. Or, l'espace de diffusion sera tout-à-fait différent, et il peut arriver qu'il soit plus ou moins grand, que celui d'un objectif simple, et dans ce dernier cas, l'objectif double sera bien préférable au simple.

VII. Mais il y a plus; on a trouvé qu'il est possible de faire des arrangemens des deux verres tels, que l'espace de diffusion est tout-à-fait réduit à rien, ce qui est sans-doute le cas le plus avantageux pour la perfection des lunettes. Le calcul nous découvre ces arrangemens, mais les artistes ne sont pas encore assez habiles pour les exécuter.

le 19 *Mars* 1762.

LETTRE CCXV.

LA combinaison de deux verres, dont je viens de donner l'idée à V. A., est

nommée objectif composé ; le but en est que tous les rayons, tant ceux qui passent par le milieu du verre que par les bords, soient réunis dans un seul point, desorte qu'il ne s'y forme qu'une seule image, sans diffusion, comme dans les objectifs simples. Si les artistes réussissaient à cette construction, on en retirerait les plus grands avantages, comme V. A. le verra.

Il est d'abord évident que la représentation des objets doit être beaucoup plus nette et mieux terminée, puisque la vision n'est plus troublée par l'apparition de cette file d'images, qui occupent l'espace de diffusion, lorsque l'objectif est simple.

Ensuite, puisque cet espace de diffusion est l'unique raison qui nous oblige de donner aux objectifs simples, une si excessive distance de foyer, pour rendre le fâcheux effet qui en résulte insensible ; en employant des objectifs composés, nous ne serons plus réduits à cet expédient incommode, et nous pourrons faire des lunettes incomparablement plus courtes, qui produiront le même grossissement.

Lorsqu'en employant un objectif simple, on veut grossir 100 fois, sa distance de foyer ne saurait être plus petite que de 30 pieds, et la longueur de la lunette devient encore plus grande à cause du

verre oculaire, dont la distance de foyer doit être ajoutée ; un moindre objectif produirait, à cause de son plus grand espace de diffusion, une confusion insupportable. Or, une longueur de 30 pieds, non-seulement est très-incommode, mais les artistes réussissent rarement à former des verres d'une si grande distance de foyer. V. A. en sentira bien la raison, puisque le rayon des faces de ce verre doit être aussi de 30 pieds, et qu'il est très-difficile de décrire exactement un si grand cercle, où la moindre aberration rend le travail inutile.

Ces accidens ne sont pas à crainde dans la construction des verres objectifs composés, qui peuvent être formés de plus petits cercles, pourvu qu'ils soient susceptibles de l'ouverture que le grossissement exige. Ainsi, pour grossir 100 fois, nous avons vu que l'ouverture de l'objectif doit être de 3 pouces, or on pourra bien construire un objectif composé, dont la distance de foyer ne serait que de 10 pouces, et qui admettrait une ouverture de plus de 3 pouces: donc, puisque la distance de foyer de l'oculaire doit être 100 fois plus petite, elle serait d'un pouce; et l'intervalle entre les verres devant être la somme de leurs distances de foyer, la longueur de la lunette ne serait qne 101 pouces, qui sont 8 pieds et 5 pouces, bien plus petite que celle de 30 pieds.

Mais il me semble qu'un objet composé, dont le foyer serait à 50 pouces, pourrait bien admettre encore une ouverture de 3 pouces et même au-delà ; prenant donc l'oculaire d'un demi-pouce de foyer, on obtiendra le même grossissement de 100 fois, et la longueur de la lunette serait réduite à la moitié, c'est-à-dire, à 4 pieds et près de 3 pouces. Une telle lunette produirait donc le même effet qu'une ordinaire de 30 pieds, ce qui est sûrement le plus grand avantage qu'on puise souhaiter.

Si un tel objectif composé réussissait, on n'aurait qu'à doubler toutes les mesures, pour en avoir un qui admit une ouverture de 6 pouces, et celui-ci pourrait être employé à grossir 200 fois, en se servant d'un oculaire de demi-pouce de foyer, comme la deux-centième partie de la distance de foyer de l'objectif, qui serait dans ce cas de 100 pouces. Or, une lunette ordinaire, qui grossit 200 fois, surpasse la longueur de 100 pieds ; pendant que celle qui est faite avec un objectif composé, ne contient qu'environ 8 pieds, et peut être employée très-commodément dans la pratique, au lieu qu'une lunette de 100 pieds est un fardeau presqu'entiérement inutile.

On pourrait pousser la cause beaucoup plus loin encore, et doubler même les

mesures, pour avoir un objectif composé, dont la distance de foyer fut de 200 pouces ou de 16 pieds et 8 pouces, qui admit une ouverture de 12 pouces ou d'un pied; prenant alors un oculaire d'un demi-pouce de foyer, puisque 200 pouces contiennent 400 demi-pouces, on aura une lunette qui grossira 400 fois, et qui sera encore trés-bien traitable, étant audessous de 17 pieds, pendant que si l'on voulait produire le même grossissement par un verre objectif simple, la longueur de la lunette devrait surpasser 300 pieds, et ne serait certainement d'aucun usage, à cause de sa prodigieuse longueur.

On a à Paris une lunette de 120 pieds, et à Londres, une de 130, mais les terribles difficultés de les monter et de les diriger, anéantissent presque les avantages qu'on s'en était promis. V. A. en conclura, combien il serait important, que l'on réussit dans la construction des objectifs composés dont je viens de parler. J'en avais donné les premières idées, il y a plusieurs années; et depuis ce tems, les plus habiles artistes en Angleterre et en France travaillent à les exécuter; la chose demande bien des essais, et une grande adresse de la part de l'ouvrier; et quoique j'aie fait faire par le machiniste de notre académie quelques heureux essais, les dépenses d'une telle entreprise m'ont obligé d'y renoncer.

Mais la société des sciences à Londres a annoncé l'année passée qu'un très-habile artiste, nommé Dollon, en était venu heureusement à bout ; et maintenant on admire par-tout ses lunettes. Un autre habile artiste de Paris, nommé Passement, se vante d'un succès pareil, l'un et l'autre me faisaient l'honneur, autrefois, d'entretenir une correspondance avec moi sur cette matière, mais comme il s'agissait principalement de surmonter de grands obstacles dans la pratique, ce dont je ne m'étais jamais mêlé, il est bien juste que je leur abandonne la gloire de la découverte : ce n'est que la partie théorique qui m'appartient, et qui m'a coûté des recherches bien profondes, et des calculs très-peinibles, dont la vue seule éfrayerait V. A. ; ainsi, je me garderai bien de l'entretenir sur cette matière épineuse.

le 16 *Mars* 1762.

LETTRE CCXVI.

POUR donner à V. A. quelqu'idée des recherches qui m'ont conduit à la construction des objectifs composés, je dois commencer par la formation des verres simples.

Remarquons d'abord que les deux faces d'un verre peuvent être formées d'une infinité de manières différentes, en prenant les cercles, dont les faces sont des parties, ou égaux, ou inégaux entr'eux, desorte pourtant que la distance de foyer demeure toujours la même.

On donne ordinairement aux deux faces d'un verre la même figure, ou comme on représente les faces des verres par des arcs de cercles, on fait les deux faces avec des rayons égaux entr'eux. La commodité dans l'exécution a sans doute recommandé cette figure, puisqu'on peut se servir du même bassin pour former l'une et l'autre face, et que la plupart des ouvriers n'est pourvue que d'un petit nombre de bassins.

Supposons donc un verre convexe, dont les deux faces soient travaillées sur un même bassin de 24 pouces de rayon, desorte que chaque face soit un arc de cercle dont le rayon soit de 24 pouces, ce verre sera convexe des deux côtés, et il aura son foyer à la distance de 24 pouces, comme on l'estime communément; mais comme le foyer dépend de la réfraction, et que la réfraction n'est absolument pas la même dans toutes les espèces de verres où se trouve une diversité assez considérable, selon que le verreest plus ou moins blanc et dur; cette estime du foyer

n'est pas juste à la rigueur, et ordinairement sa distance du foyer du verre est un peu moindre que le rayon de ses deux faces, tantôt de la dixiéme partie, tantôt de la douziéme; ainsi le verre que je viens de supposer, et dont les rayons de chaque face sont de 24 pouces, aura son foyer à une distance d'environ 22 pouces, s'il est travaillé de la même sorte de verre dont on a fait communément les miroirs: quoiqu'on rencontre aussi dans cette espèce de verres, une petite diversité par rapport à la réfraction.

Nous voyons ensuite qu'en faisant les deux faces du verre inégales, on peut former une infinité d'autres verres, qui ont tous la même distance de foyer: car, en prenant le rayon d'une face plus petit que 24 pouces, on prendra celui de l'autre face d'autant plus grand, selon une certaine proportion; on peut toujours prendre le rayon d'une face à volonté, et trouver, par le moyen d'une certaine regle, le rayon de l'autre, afin que la distance de foyer devienne la même que si chaque face avait 24 pouces de rayon. La table suivante offre plusieurs verres pareils, qui ont tous la même distance de foyer.



Verres	Rayons de la Iere face.	Rayons de la II^{de}. face.
I.	24	24
II.	21	28
III.	20	30
IV.	18	36
V.	16	48
VI.	15	60
VII.	14	84
VIII.	13	156
IX.	12	infini

Dans la dernière forme, le rayon d'une face n'est que de 12 pouces, ou la moitié de 24 pouces, mais celui de l'autre devient infini, ou plutôt cette face est un arc de cercle infiniment grand; et comme un tel arc ne diffère plus d'une ligne droite, cette face sera plane, et ce verre plano-convexe.

Si nous voulions prendre le rayon d'une face encore plus petit que de 12 pouces, l'autre face doit être faite concave, et le verre deviendra convexo-concave; il portera alors le nom de menisque, dont voici plusieurs figures.

Menisque	Rayon de la face convexe.	Rayon de la face concave.
X.	11	132
XI.	10	60
XII.	9	36
XIII.	8	24
XIV.	6	12
XV.	4	6
XVI.	3	4

Voilà donc encore une nouvelle espèce de verres, dont la dernière est représentée dans la (*Planc. IX*, *fig.* 11), desorte que nous en avons ici 16 espèces différentes, qui ont toutes leur foyer à la même distance, qui sera environ de 22 pouces, un peu plus ou moins, selon la nature du verre.

Quand donc il n'est question que de la distance de foyer que le verre doit avoir, il est indifférent selon laquelle de ces formes on veuille le travailler : mais il s'y trouve une très-grande différence dans l'espace de diffusion, auquel chaque espèce est assujettie, cet espace devenant plus petit dans les unes que dans les au-

tres. Quand on veut employer un verre objectif simple, comme à l'ordinaire, il n'est plus indifférent de quelle espèce on tire sa figure, et celle qui produit le plus petit espace de diffusion est à préférer. Or, cette belle propriété ne convient pas à la première espèce, où les deux faces sont égales, mais à-peu-près à la VII espèce, qui est douée de la prérogative, que lorsqu'on tourne vers l'objet sa face la plus convexe, ou celle dont le rayon est plus petit, l'espace de diffusion se trouve environ de la moitié plus petit que si le verre était également convexe des deux côtés; c'est donc la figure la plus avantageuse aux verres objectifs simples, aussi les praticiens sont-ils d'accord là-dessus.

Il est donc clair que, pour juger de l'espace de diffusion d'un verre, il ne suffit pas d'en connaître la distance de foyer, il faut savoir son espèce, c'est-à-dire, les rayons de chaque face, et bien distinguer laquelle de ces faces est tournée vers l'objet.

Remarquez, après cette explication, que pour chercher la combinaison de deux verres qui ne produisent aucune diffusion d'image, il faut absolument tenir compte de la figure des deux faces de chaque verre, et qu'on a ce problême à résoudre, *quels doivent être les rayons des faces des deux verres, afin que l'es-*

pace de diffusion soit réduit à rien? La solution demande les plus profondes recherches de la plus sublime géométrie ; et après en être venu à bout, l'artiste trouve encore bien des difficultés à surmonter ; il faut qu'il donne aux bassins la même courbure prétisément que le calcul a enseignée, et cela n'est pas suffiisant encore, car pendant qu'on travail le verre sur le bassin, pour qu'il prenne la figure, le bassin même en souffre à son tour ; on est donc obligé de rectifier sa figure de tems-en-tems, avec la plus grande justesse, car dès qu'on manque à toutes ces précautions, on ne saurait se promettre un heureux succès, aussi est-il bien difficile d'empêcher que le verre ne prenne une figure un peu différente de celle du bassin ; d'où V. A. jugera combien il doit être difficile de porter à la perfection cet important article de la dioptrique.

le 20 *Mars* 1762.

LETTRE CCXVII.

V. A. vient de voir de quelle manière on doit remédier à l'inconvénient des rayons qui, passant par les bords d'un verre

verre, ne se réunissent pas dans le même point où sont réunis ceux qui passent par son milieu, tellement qu'il en naît une infinité d'images dispersées dans l'espace de diffusion. Mais cet inconvénient n'est pas seul, il en est encore un autre, d'autant plus important, qu'il semble impossible d'y remédier, parce que la cause ne se trouve pas dans le verre, mais dans la nature des rayons mêmes.

V. A. se souvient qu'il regne une grande variété dans les rayons, par rapport aux diverses couleurs dont ils nous impriment le sentiment; j'ai comparé cette diversité avec celle qu'on trouve dans les tons, ayant établi pour principe, que chaque couleur est attachée à un certain nombre de vibrations. Mais quand cette explication paraîtrait encore douteuse, il reste très-sûr que les rayons des diverses couleurs souffrent aussi des réfractions différentes, en passant d'un milieu transparent dans un autre, ainsi les rayons rouges souffrent la plus petite réfraction, et les violets la plus grande, quoique la différence soit presque imperceptible. Or, toutes les autres couleurs, comme l'orange, le jaune, le verd et le bleu, sont contenues, à l'égard de la réfraction, entre ces deux limites. Il faut aussi remarquer que le blanc est un mélange de toutes ces couleurs, qui, par la réfraction, se séparent les unes des autres.

En effet, quand (*Planc. IX*, *fig.* 12) on fait tomber obliquement un rayon blanc OP, ou un rayon du soleil, sur un morceau de verre ABCD, au lieu de continuer sa route suivant sa direction PQ, non-seulement il en est détourné, mais il se partage encore en plusieurs rayons P*r*, P*s*, P*t*, P*v*, dont le premier P*r*, qui est le moins détourné, représente la couleur rouge, et le dernier P*v*, qui est le plus détourné, la couleur violette; la dispersion *r v* est bien plus petite que ne le représente la figure, cependant leur divergence devient toujours plus sensible.

De cette différente refrangibilité des rayons, selon leurs diverses couleurs, naissent les phénomènes suivans, par rapport aux verres dioptriques.

I. Soit PP (*Planc. IX*, *fig.* 13), un verre convexe, sur l'axe OR, duquel se trouve, dans un très-grand éloignement AO, l'objet O*o*, dont il s'agit de déterminer l'image représentée par le verre, en faisant ici abstraction de la première irrégularité qui regarde la diffusion, ou, ce qui revient au même, en ne considérant ici que les rayons qui passent par le milieu du verre AB, comme si ses bords étaient couverts d'un carton.

II. Supposons maintenant que l'objet O*o* soit rouge, desorte que tous ses rayons

soient de la même nature, le verre en représentera quelque part l'image R *r* également rouge : on nomme alors le point R, foyer des rayons rouges, ou de ceux qui souffrent la moindre réfraction.

III. Mais si l'objet O*o* est violet, puisque les rayons de cette couleur souffrent la plus grande réfraction, l'image V*v* sera plus proche du verre, que la précédente R *r*; ce point V est nommé le foyer des rayons violets.

IV. Si l'objet était teint de quelqu'autre couleur, mitoyenne entre la rouge et la violette, l'image tomberait entre les lieux R et V, serait toujours bien nette, et terminée par la droite *o* B, tirée de l'extrêmité de l'objet *o* par le milieu du verre, cette regle étant générale pour toutes les couleurs.

V. Mais si la couleur de l'objet n'est pas pure, comme il arrive dans presque tous les corps, ou que l'objet O*o* fut blanc, ce qui est un mêlange de toutes les couleurs, les divers espèces de rayons sont alors séparées par la réfraction, et chacune représentera une image à part. Celle qui est formée par les rayons rouges, se trouvera en R *r*; et celle qui l'est par les rayons violets, en V*v*; et tout l'espace R V sera rempli par les images des couleurs moyennes.

VI. Le verre PP représentera donc une infinité d'images de chaque objet O *o*, disposées par le petit espace RV, dont la plus éloignée du verre R *r* est rouge et la plus proche V *v* violette, et les moyennes, des couleurs moyennes; selon l'ordre des couleurs que nous voyons dans l'arc-en-ciel.

VII Chacune de ces images sera bien nette en elle-même, et toutes terminées par la ligne droite *o* B *v r*, tirée de l'extrêmité de l'objet *o* par le milieu du verre B : mais elles ne sauraient être vues ensemble sans une confusion assez sensible.

VIII. Il en naît donc un espace de diffusion comme dans la première irrégularité, mais qui en diffère en ce que celui-ci est indépendant de l'ouverture du verre, et que chaque image est teinte d'une couleur particulière.

IX. Cet espace de diffusion R V, dépend de la distance de foyer du verre, desorte qu'il en est toujours environ la vingt-huitieme partie; quand donc la distance de foyer du verre PP est de 28 pieds, l'espace R V devient égal à un pied entier, ou bien, la distance entre l'image rouge R *r* et la violette V *v*, est d'un pied. Si la distance de foyer était deux fois plus grande ou de 56 pieds, l'espace R V serait de 2 pieds et ainsi des autres.

X. De-là, l'estime de la distance de foyer d'un verre devient incertaine, puisque les rayons de chaque couleur ont leur foyer à part : et quand on parle du foyer d'un verre, il faudrait toujours s'expliquer de quelle couleur on l'entend. Mais on l'entend communément des rayons d'une nature moyenne, entre le rouge et le violet, et qui répond à la couleur verte.

XI. Ainsi, quand on dit sans s'expliquer davantage, que la distance de foyer de telle verre est de 56 pieds, il faut entendre que c'est l'image verte qui tombe à cette distance; l'image rouge tombera environ d'un pied plus loin, et la violette, d'un pied plus près.

Voilà donc une nouvelle circonstance bien essentielle, à laquelle il faut avoir égard dans les instrumens dioptriques.

le 23 Mars 1762.

LETTRE CCXVIII.

IL faut bien distinguer cette nouvelle diffusion, ou multiplication de l'image, qui vient de la diverse refrangibilité des rayons, en ce qu'ils sont de différentes

couleurs de la précédente qui provenait de l'ouverture du verre, et de ce que les rayons qui passent près des bords, forment un autre image que ceux qui passent par son milieu. Aussi faut-il remédier à ce nouvel inconvénient différemment qu'au premier.

V. A. voudra bien se souvenir que j'ai proposé deux moyens pour remédier à l'inconvénient précédent; l'un consistait dans l'agrandissement de la distance de foyer, pour diminuer la courbure des faces du verre; ce remède nous conduisait à des lunettes extrêmement longues, lorsqu'on souhaitait un grand grossissement. L'autre requérait la combinaison de deux verres, l'un convexe, et l'autre concave, pour tempérer la réfraction, de façon que tous les rayons transmis par ces verres, se réunissent dans le même point, et que l'espace de diffusion fût réduit à rien.

Mais, ni l'un ni l'autre de ces remèdes n'apporte du secours à l'inconvénient causé par la différente refrangibilité des rayons. Le premier produit même un effet tout contraire, puisque, plus on augmente la distance de foyer du verre, plus l'espace par lequel les images colorées sont dispersées devient considérables : la combinaison de deux ou plusieurs verres, n'est encore d'aucun secours, et on a trouvé

par l'expérience et la théorie, que les images de différentes couleurs demeurent toujours séparées, quelque grand que soit le nombre des verres par lesquels on fait passer les rayons, et que, plus la lunette doit grossir, et plus la différence augmente.

Cette circonstance effraya tellement le grand Newton, qu'il a désespéré de remédier à ce défaut, qu'il croyait absolument inséparable des instrumens dioptriques, où la vision se fait par des rayons réfractés. C'est pourquoi, il prit le parti de renoncer entièrement à la réfraction, et d'employer des miroirs au lieu des verres objectifs, puisque la réflexion est toujours la même pour tous les rayons; c'est cette idée qui nous a procuré ces excellens télescopes à réflexion, dont on admire les effets surprenans, et dont je parlerai une autre fois, quand j'aurai rapporté tout ce qui regarde les instrumens à réfraction.

Lorsque j'ai été convaincu qu'il était impossible de remédier à la diverse réfrangibilité des rayons, par la combinaison de plusieurs verres, j'ai remarqué que la raison en est fondée sur la loi de réfraction, qui est la même dans toutes les espèces de verres; et je me suis apperçu, que si l'on pouvait employer d'autres matières transparentes, dont la

réfraction fut considérablement différente de celle du verre, il serait bien possible de la combiner avec le verre, desorte que tous les rayons se réunissent à former une seule image, sans qu'il y eut d'espace de diffusion. Ayant poursuivi cette idée, j'ai trouvé moyen de composer des objectifs de verre et d'eau tout-à-fait exempts de l'effet de la diverse refrangibilité des rayons, qui, par conséquent, devraient produire un effet aussi bon que les miroirs.

J'ai exécuté cette idée par deux ménisques, ou verres concavo-convexes (*Planc.* IX, *fig.* 14), dont l'un est AA CC, et l'autre BB CC, que j'ai joints ensemble par leurs faces concaves, en remplissant d'eau le vuide qui restait entr'elles, desorte que les rayons qui sont entrés par le verre AA CC, doivent traverser l'eau contenue entre les deux verres, avant de sortir par CC BB. Chaque rayon souffre donc quatre réfractions; la premiere, en entrant de l'air dans le verre AA CC; la seconde, en passant de ce verre dans l'eau; la troisieme, en passant de l'autre verre CC BB; la quatrième, en sortant de ce verre dans l'air.

Comme les quatre faces de ces deux verres entrent ici en considération, j'ai trouvé moyen d'en déterminer les demi-diametres, ensorte que, de quelle cou-

leur que soit un rayon de lumière, après avoir souffert ces quatre réfractions, il se réunisse dans le même point, et que la diverse réfrangibilité ne produise plus de diverses images.

Ces objectifs composés de deux verres et d'eau ; tombaient d'abord trop dans le premier inconvénient, où les rayons qui passent près des bords forment un autre foyer que ceux qui passent par le milieu, mais après des recherches bien pénibles, j'ai trouvé moyen de proportionner les rayons des quatre faces, de façon que ces objectifs composés dussent être délivrés tout-à-la-fois des inconvéniens de l'une et de l'autre classe. Mais il fallait exécuter si exactement pour cela toutes les mesures prescrites par le calcul, que la moindre aberration faisait échouer tous les avantages qu'on en attendait, desorte que je ne voulus plus insister sur la construction de ces objectifs

D'ailleurs ce projet ne remédierait qu'aux inconvéniens qui sont à craindre de la part du verre objectif, et le verre oculaire ne manquerait pas de produire aussi un effet fâcheux, auquel il est impossible de remédier de la même manière. On se sert souvent de plusieurs oculaires, pour construire des lunettes, comme je l'expliquerai dans la suite, ainsi (on) ne gagnerait pas grand chose, si l'on s'ar-

rêtait trop scrupuleusement à un seul objectif, en négligeant les autres verres, quoique leur effet soit peu sensible relativement à celui de l'objectif.

Mais quelques peines que m'ayent couté ces recherches, je dois avouer franchement, que je renonce entièrement à présent à la construction des objectifs composés de verres et d'eau; tant à cause de leur exécution trop difficile, que parce que j'ai découvert depuis d'autres moyens, non pas de détruire l'effet de la diverse refrangibilité des rayons, mais de le rendre insensible. J'aurai l'honneur d'entretenir V. A. là-dessus l'ordinaire prochain.

le 27 Mars 1762.

LETTRE CCXIX.

LORSQUE les télescopes à réflexion sont venus en vogue, on a tellement décrié les lunettes à réfraction, qu'on devait croire qu'elles n'auraient plus d'autre sort que d'être rejettées entièrement. Aussi a-t-on dès lors négligé tout-à-fait leur construction; dans la ferme persuasion que tous les soins qu'on se donnerait pour les perfectionner, seraient inutiles, puisque le grand Newton avait démontré, que les effets fâcheux de la diverse ré-

frangibilité des rayons, étaient absolument inséparables de la construction des lunettes.

Suivant ce sentiment, aucunes lunettes ne sauraient nous représenter les objets qu'avec une confusion d'autant plus insupportable, que le grossissement serait plus grand. Cependant, quoiqu'on trouve des lunettes extrêmement défectueuses à cet égard, on en trouve aussi quelquefois de très-bonnes, qui ne cèdent en rien aux télescopes à réflexion tant vantés. C'est sans doute un très-grand paradoxe; car si ce défaut était bien fondé on ne devrait en trouver aucune qui en fût exempte : par conséquent, cette exception, dont l'expérience nous assure, mérite toute notre attention.

Il s'agit donc d'approfondir, pourquoi quelques lunettes représentent assez nettement les objets, et que d'autres ne sont que trop assujetties au défaut causé par la différente refrangilibité des rayons. Je crois en avoir découvert la raison, et je vais la proposer à V. A. par les réflexions suivantes.

I. Il est très-certain que le verre objectif représente une infinité d'images de chaque objet, qui se trouvent toutes rangées sur l'espace de diffusion, et dont chacune est teinte de sa propre

couleur, comme je l'ai prouvé dans ma lettre précédente.

II. Chacune de ces images devient un objet par rapport au verre oculaire, qui représente chacune séparement avec la couleur qui lui est propre, desorte que l'œil découvre par la lunette une infinité d'images disposées dans un certain ordre, selon la réfraction des verres.

III. Et si, au lieu d'un verre oculaire, on en employe plusieurs, il arrivera toujours la même chose, et au lieu d'une image, la lunette en représentera une infinité à l'œil, ou bien une file d'images, dont chacune exprime à part l'objet, mais d'une couleur particulière.

IV. Considérons donc (*Planc. IX, fig. 15*), les dernières images que la lunette offre à l'œil placé en O; et soit R *r* l'image rouge, et V *v* la violette, celles des autres couleurs se trouvant entre ces deux, selon l'ordre de leur différente refrangibilité. Je n'ai pas indiqué dans cette figure les verres de la lunette, puisqu'il s'agit uniquement de quelle manière l'œil voit les images. Il faut seulement envisager la distance de l'œil O jusques à elles comme très-grande.

V. Toutes ces images R *r* et V *v* avec les moyennes, sont donc situées sur l'axe de la lunette O R V, et terminées par une certaine ligne droite *r v*, qui est

nommée la terminatrice de toutes les images.

VI. Comme j'ai représenté ces images dans la figure, l'image rouge R*r* est vue par l'œil en O sous l'angle R O *r*, qui est plus grand que l'angle VO *v*, sous lequel est vue l'image violette V *v*. Les rayons violets, qui entrent de l'image V*v*, dans l'œil, se mêlent donc avec les rouges, qui viennent de la partie R*r* de l'image rouge R*r*.

VII. Par conséquent, l'œil ne saurait voir l'image violette sans un mêlange de rayons d'autres couleurs, mais qui répondent à différens points de l'objet même ; ainsi le point *n* de l'image rouge est confondu dans l'œil avec l'extrêmité *v* de l'image violette, d'où doit naître une grande confusion.

VIII. Or, le rayon *r* O n'étant point mêlé par d'autres, l'extrêmité vue paraîtra rouge, ou bien l'image semblera bordée de rouge, qui se mêle ensuite avec ces autres couleurs successivement, desorte que l'objet paraîtra bordé de couleur d'iris, ce qui est un défaut très-commun dans les lunettes, auquel cependant quelques-unes sont moins sujettes que d'autres.

IX. Si la plus grande image R*r* était la violette et V*v* la rouge, la confusion serait également insupportable, avec

cette seule différence que les extrêmités de l'objet paraîtraient alors bordées de violet, au lieu de rouge.

X. La confusion dépend donc de la position de la droite terminatrice *rv*, par rapport à la ligne VO, et la diversité qui peut y avoir lieu; il en résultera que la confusion sera tantôt plus grande, tontôt plus petite.

XI. Considérons maintenant le cas, où les dernières images représentées par la lunette, sont tellement arrangées que la droite terminatrice *vr* étant prolongée, passe précisément dans l'œil. Alors l'œil verra (*Plan. IX, fig.* 16), par un seul rayon *vr*O, toutes les extrêmités des images; et en général, tous les points qui répondent à un même point de l'objet, seront portés dans l'œil par un seul rayon; et par conséquent, ils y seront représentés distinctinctement.

XII. Voilà donc le cas, où il peut arriver que, non-obstant la diversité des images, l'œil voie l'objet distinctement, sans que diverses parties en soient confondues ensemble, comme il est arrivé dans le précédent. Cet avantage a donc lieu, lorsque la ligne terminatrice *vr* étant prolongée, passe par le lieu de l'œil O.

XIII. Comme l'arrangement des dernières

images R *r* et V *v* dépend de la disposition des verres oculaires, pour délivrer les lunettes du défaut qu'on leur reproche, il ne s'agit que d'arranger ces verres, ensorte que la ligne terminatrice des dernières images *v r* passe par l'œil, et les lunettes auxquelles cela arrive, seront toujours excellentes.

le 30 *Mars* 1762.

LETTRE CCXX.

En rassemblant ce que j'ai expliqué jusqu'ici, V. A. conviendra aisément, que c'est une chose bien rare et très-précieuse qu'une lunette excellente à tous égards, et qui ne soit assujettie à aucun défaut; puisqu'il faut avoir égard à tant de circonstances, dont chacune influe très-essentiellement sur la construction des bonnes; comme le nombre des bonnes qualités est considérable, afin qu'aucune n'échappe à notre attention, il sera bon de les mettre ici toutes à la fois devant les yeux de V. A.

I. La première qualité regarde le grossissement; et plus une lunette grossit les objets, plus elle est sans doute parfaite, pourvu qu'aucune des autres bon-

nes.

nes qualités n'y manque. Or, le grossissement se juge par le nombre de fois que le diametre des objets paraît plus grand qu'à la vue simple : V. A. se souviendra que cela arrive autant de fois dans les lunettes à deux verres, que la distance de foyer du verre objectif surpasse celle de l'oculaire. Dans les lunettes à plusieurs verres, ce jugement est plus embarrassé.

II. La seconde qualité d'une bonne lunette est la clarté. Elle est toujours fort défectueuse, lorsqu'elle représente les objets obscurément, et comme dans un brouillard. Pour éviter cet inconvénient, il faut que le verre objectif ait une ouverture suffisante, dont la mesure se regle sur le grossissement. Les artistes ont déterminé que, pour grossir 300 fois, le diametre de l'ouverture de l'objectif doit être de 3 pouces, et pour tout autre grossissement à proportion. Or, lorsque les objets ne sont pas fort lumineux d'eux-mêmes, il est bon de donner à l'objectif une plus grande ouverture encore.

III La troisieme qualité consiste dans la distinction ou netteté de la représentation. Il faut pour cela que les rayons qui passent par les bords de l'objectif, se réunissent au même point que ceux qui passent par le milieu, ou que du moins

l'aberration ne soit pas sensible. Quand on se sert d'un objectif simple, il faut que sa distance de foyer surpasse une certaine limite, qui se rapporte au grossissement. Ainsi quand on veut grossir 100 fois, il faut que la distance de foyer de l'objectif soit de 30 pieds au moins; de sorte que c'est la distinction qui nous impose la nécessité de faire des lunettes si excessivement longues, lorsqu'on demande un très-grand grossissement. Or, pour remédier à cet inconvénient, on peut se servir d'un objectif composé de deux verres; et si les artistes réussissaient dans leur construction, on serait en état de racourcir les lunettes très-considérablement pour le même grossissement. V. A. voudra bien se souvenir à cet égard de ce que j'ai eu l'honneur de dire fort au long sur ce sujet.

IV. La quatrième qualité regarde aussi la netteté ou la pureté de la représentation, entant qu'elle est troublée par la diverse refrangibilité des rayons de différentes couleurs. J'ai fait voir de quelle manière il est possible de remédier à cet inconvénient; et comme il est impossible que les images formées par les différens rayons soient réunies dans une seule, il s'agit d'arranger les verres de la manière que j'ai expliquée

dans ma lettre précédente ; c'est-à-dire, que la ligne terminatrice des dernières images passe par l'œil. Sans quoi la lunette aura le défaut de représenter les objets environnés des couleurs d'iris, et ce défaut s'évanouit quand on arrange les verres de la manière démontrée. Or, il faut pour cet effet employer plus de deux verres, afin de pouvoir les arranger comme il faut. Je n'ai parlé jusqu'ici que des lunettes composées de deux verres, dont l'un est l'objectif, et l'autre l'oculaire; et V.A. sait que leur éloignement est déja terminé par les distances des foyers, desorte qu'on n'est plus maître d'y rien changer. Cependant il arrive, heureusement, que la ligne terminatrice, dont j'ai parlé, passe à-peu-près par le lieu de l'œil, desorte que le défaut des couleurs d'iris est presque insensible, pourvu qu'on ait remédié au défaut précédent, sur-tout quand le grossissement n'est pas très-grand. Mais dans les grossissemens considérables, il est bon d'employer deux verres oculaires, pour anéantir entiérement les couleurs d'iris ; puisque, dans ce cas, les moindres défauts étant également grossis, deviennent insupportables.

V. La cinquieme et dernière bonne qualité des lunettes, est un grand champ apparent, ou l'espace que la lunette

nous découvre à la fois. V. A. se souvient que les petites lorgnettes de poche, à un oculaire concave, ont le défaut d'un champ trop petit, qui les rend incapables de grossir beaucoup. L'autre espèce, à oculaire convexe, est moins sujette à ce défaut, mais comme elle représente les objets renversés, les lunettes de la première espèce seraient bien préférables, si elles nous découvraient un plus grand champ, qui dépend de l'ouverture du verre oculaire; et V. A. comprend assez qu'on ne saurait augmenter cette ouverture à volonté, puisqu'elle est déterminée par sa distance de foyer. Or, en employant deux ou trois, ou même plusieurs verres oculaires, on a trouvé moyen de rendre le champ apparent plus grand; et c'est une nouvelle raison d'employer plusieurs verres, pour construire des lunettes qui soient bonnes à tous égards.

A ces bonnes qualités, on pourrait encore ajouter celle-ci, que sa représentation ne soit pas renversée, comme dans les lunettes astronomiques : mais il est aisé de remédier à ce défaut, si c'en est un, en ajoutant encore deux verres oculaires, comme je l'exposerai dans ma premiere lettre.

le 3 Avril 1762.

LETTRE CCXXI.

Je me suis arrêté bien long-tems aux lunettes composées de deux verres convexes, qui sont connues sous le nom de tubes astronomiques, parce qu'on s'en sert communnément pour observer les étoiles.

V. A. comprendra aisément que l'usage de ces instrumens, quelqu'excellens qu'ils soient, se borne uniquement au ciel, parce qu'ils représentent les objets dans une situation renversée, ce qui devient fort désagréable lorsqu'on veut contempler des objets terrestres, que nous voudrions voir dans leur situation naturelle; mais après la découverte de cette espèce de lunettes, on a bien vîte trouvé moyen d'y remédier, en doublant, pour ainsi dire, la même lunette. Car puisque deux verres renversent les objets, ou représentent leurs images renversées, en joignant une lunette pareille à celle-ci pour regarder les mêmes images, elles seront renversées encore une fois, et cette seconde représentation nous offrira les objets debout. De-là naît une nouvelle espèce de lunettes, composées de quatre verres, qu'on nomme lunettes terrestres, puisqu'elles sont destinées à contempler

les objets terrestres. Voici leur construction ;

I. Les quatre verres A, B, C, D (*Planc. IX, fig.* 10), enchassés dans le tuyau MMNN, représentent la lunette en question, dont le premier A, dirigé vers les objets, est nommé objectif, et les trois autres B, C, D, les oculaires. Ces quatre verres sont convexes, et l'œil doit être placé au bout du tuyau, à une certaine distance du dernier oculaire D, dont j'expliquerai la détermination dans la suite.

II. Considérons les effets que chaque verre doit produire, quand l'objet O*o*, qu'on regarde par la lunette, se trouve à une distance fort grande ; le verre objectif représentera d'abord l'image de cet objet en P*p*, à la distance de son foyer ; dont la grandeur est déterminée par la ligne droite tirée de l'extrêmité *o*, par le milieu du verre A ; cette ligne n'est pas exprimée dans la figure, pour ne pas trop la charger de lignes.

III. Cette image P*p* tient lieu de l'objet par rapport au second verre B, qu'on place de manière que l'intervalle BP soit égal à sa distance de foyer ; afin que la seconde image en soit transportée à l'infini, comme en Q*q*, qui sera renversée comme la première P*p*, et terminée par ligne droite, tirée du mi-

lieu du verre B, par l'extrêmité *p*.

IV. L'intervalle entre ces deux premiers verres A B, est donc égal à la somme de leurs distances de foyer ; et si l'on tenait l'œil derrière le verre B, on aurait une lunette astronomique par laquelle on verrait l'objet O*o* en Q*q*, et conséquemment renversé et grossi autant de fois que la distance A P surpasse la distance B P. Mais au lieu de l'œil, on place derrière le verre B, à quelque distance, le troisieme verre C, par rapport auquel l'image Q*q* tient lieu de l'objet, puisqu'il reçoit effectivement les rayons de cette image Q*q*, qui se trouvant à une très-grande distance, le verre C en représentera l'image à sa distance de foyer en R*r*.

V. L'image Q*q* étant renversée, celle R*r* sera debout, et terminée par la ligne droite qu'on tirerait de l'extrêmité *q* par le milieu du verre C, qui passerait par le point *r*. Par conséquent les trois verres A, B, C, ensemble, représentent l'objet O*o* en R*r*, et cette image R*r* est debout.

VI. Enfin, on n'a qu'à placer le dernier verre de façon que l'intervalle D R soit égal à sa distance de foyer ; ce verre éloignera encore l'image R*r* à l'infini, comme en S*s*, dont l'extrêmité *s* sera déterminée par la ligne droite qu'on

tirerait du milieu du verre D, par l'extrêmité *r*, et l'œil placé derrière ce verre, verra effectivement l'image S*s*, au lieu du véritable objet O*o*.

VII. De-là, il est aisé de juger combien de fois cette lunette composée de quatre verres, doit grossir les objets ; on n'a qu'à avoir égard aux deux couples de verres, A B et CD, dont chacune, séparément, serait une lunette astronomique. La première paire de verres A et B grossit autant de fois, que la distance de foyer du premier verre A surpasse celle du second verre B ; et c'est autant de fois que l'image, qui en est formée, Q*q*, est plus grande que le véritable objet O*o*.

VIII. Ensuite cette image Q*q* tenant lieu de l'objet par rapport à l'autre paire de verres C et D, elle sera encore multipliée autant de fois que la distance du verre C. surpasse celle du verre D. Ces deux grossissemens joints ensemble, fournissent le vrai grossissement que les quatre verres produisent.

IX. Si donc la première paire de verres A et B grossissait 10 fois, et l'autre paire de verres C et D trois fois, la lunette grossirait 3 fois dix fois, c'est-à-dire, 30 fois les objets ; et l'ouverture du verre objectif A, doit répondre à ce grossissement, selon la regle que j'ai établie ci-dessus.

X. V. A. voit donc, que si l'on ôte d'une lunette terrestre les deux derniers verres C et D, on aura une lunette astronomique, et que les deux verres C et D en seront une aussi; desorte qu'une lunette terrestre est composée de deux lunettes astronomiques; et réciproquement, deux lunettes astronomiques jointes ensemble en produisent une terrestre.

Cette construction est susceptible d'une infinité de variations, les unes préférables aux autres, comme j'aurai l'honneur de l'expliquer dans la suite

le 6 *Avril* 1762.

LETTRE CCXXII.

V. A. vient de voir comment, en ajoutant deux verres convexes à une lunette astronomique, il en résulte une lunette terrestre, qui nous représente les objets debout. Les quatre verres, dont une lunette terrestre est composée, sont susceptibles d'une infinité d'arrangemens différens, tant par rapport à leurs distances, qu'à leurs foyers. Je vais expliquer (*Planc. X*, *fig.* 1) les plus essentiels.

I. Par rapport à leurs distances, j'ai déja remarqué que celle des deux premiers verres A B est la somme de leurs distances de foyers, de même que celle des deux derniers verres C D, chaque paire pouvant être regardée comme une lunette simple, composée des deux verres convexes. Mais quelle doit être la distance entre les deux verres du milieu B C? Peut-elle être laissée à notre bon plaisir? Puisque, soit qu'on la prenne grande ou petite, le grossissement, toujours composé de deux que chaque paire produirait séparément, demeure le même.

II. En consultant l'expérience, on apercevra bientôt qu'en approchant beaucoup les deux verres du milieu, le champ apparent s'évanouit presque tout-à-fait, et c'est ce qui arrive encore quand on les éloigne trop. Dans l'un et l'autre cas, vers quelqu'objet qu'on dirige la lunette, on n'en découvre qu'une très-petite partie.

III. C'est pourquoi les artistes approchent ou éloignent la dernière paire de verres de la première, jusqu'à ce qu'ils découvrent le plus grand champ, et ne fixent les verres qu'après avoir trouvé cette situation. Or, ils ont observé que; dans cet arrangement le plus avantageux, la distance des verres du milieu B C, est

toujours plus grande que la somme des distances de foyer de ces mêmes verres.

IV. V. A. jugera aisément que cette distance ne dépend point du hazard, mais qu'elle tire sa détermination de la théorie, et cela, beaucoup plus exactement que par la seule expérience. Comme c'est le devoir d'un physicien de rechercher la cause de tous les phénomènes que l'expérience nous découvre, je vais donc exposer les vrais principes qui nous fournissent la distance la plus avantageuse BC entre les deux verres du milieu. Voyez (*Planche X*, *fig.* 2).

V. Puisque tous les rayons doivent être conduits à l'œil, considérons la route de celui qui, venant de l'extrêmité *o* de l'objet visible, passe par le milieu A du verre objectif; car si ce rayon n'est pas conduit dans l'œil, cette extrêmité *o* ne sera pas visible : or ce rayon ne souffre aucune réfraction dans le verre objectif, parce qu'il passe par son milieu A, il continuera donc sa route en ligne droite jusqu'au second verre, qu'il rencontrera à son extrêmité *b*, puisque c'est le dernier rayon transmis par les verres.

VI. Ce rayon étant rompu par le second verre changera de route, ensorte qu'il

rencontrera quelque part en *n* l'axe des verres ; ce qui arriverait dans son foyer, si le rayon A *b* avait été parallele à l'axe ; mais puisqu'il sort du point A, sa réunion avec l'axe en *n* sera plus éloignée du verre B, que sa distance de foyer.

VII, Maintenant il faut placer le troisieme verre C, ensorte que le rayon, après avoir traversé l'axe en *n*, le rencontre précisément à son extrêmité *e*, d'où l'on voit que plus l'ouverture de ce verre C est grande, plus on doit le reculer du verre B, et plus la distance BC devient grande ; mais d'un autre côté, il faut bien se garder d'éloigner le verre C au-delà, puisqu'alors le rayon lui échapperait et n'en serait plus transmis ; c'est donc cette circonstance qui détermine la juste distance entre les deux verres du milieu B C, conformément à l'expérience.

VIII. Ce verre C produira une nouvelle réfraction dans notre rayon, qui doit le conduire précisément à l'extrêmité *d* du dernier oculaire D, qui, plus petit que C, rendra la ligne *c d* un peu convergente vers l'axe, et souffrira ainsi dans le dernier verre une réfraction telle, qu'il en est réuni avec l'axe à moins de distance que son foyer ; et c'est là précisément qu'il faut placer

l'œil, pour recevoir tous les rayons transmis par les verres, et y découvrir le plus grand champ.

IX. On est en état par ce moyen de se procurer un champ, dont le diametre est presque deux fois plus grand que dans les lunettes astronomiques du même grossissement. On obtient donc par ces lunettes à quatre vers, l'avantage que les objets sont représentés debout, et celui d'un plus grand champ; ce qui est d'une très-grande conséquence.

X. Enfin, il est possible de trouver un arrangement entre ces quatre verres, tel que sans porter aucune atteinte aux avantages dont je viens de parler, les couleurs d'iris s'évanouissent entiérement; et que les objets y soient représentés avec la plus grande netteté. Mais peu d'artistes sont capables d'atteindre à ce degré de perfection.

le 10 Avril 1762.

LETTRE CCXXIII.

APRÈS ces recherches sur la construction des lunettes, je dois rendre compte à V. A. de quelques précautions très-nécessaires, qui, quoiqu'elles ne regardent

ni les verres mêmes, ni leur arrangement, ne laissent pas d'être de la plus grande importance, desorte que, si l'on ne les observe pas très-soigneusement, la meilleure lunette devient tout-à-fait inutile. Il ne suffit pas d'arranger les verres, de façon que tous les rayons qui y tombent, soient transmis au travers de ces verres dans l'œil ; il faut outre cela empêcher que les rayons étrangers ne soient pas aussi transmis par la lunette ; afin qu'ils ne troublent point la représentation. Il faut donc prendre les précautions suivantes.

I. Les verres, dont une lunette est composée, doivent être enfermés dans un tuyau, afin que point d'autres rayons que ceux qui sont transmis par l'objectif, ne puissent parvenir aux autres verres. Pour cet effet, le tuyau doit être bien fermé par-tout, afin qu'aucune lumière ne puisse y entrer par quelques fentes. S'il arrivait par quelqu'accident que les tuyaux fussent percés d'un trou, la lumière étrangère qui y entrerait, étoufferait la représentation des objets.

II. Il est aussi fort important que l'intérieur du tuyau soit bien noirci partout et même d'un noir très-foncé, puisqu'on sait que la couleur noire ne réfléchit point de rayons, quelque

forte que soit la lumière qui y tombe. Aussi V. A. aura déja observé que les tuyaux de lunettes sont noircis en dedans. Une seule réflexion en fera voir la nécessité.

III. L'objectif A, (*Planche X, figure* 3), ne transmet pas seulement les rayons des objets que la lunette nous représente, mais aussi ceux des côtés qui y entrent tout autour en grande abondance, tel est le rayon *h a* qui tombe en dedans sur le parois du tuyau en *i*; si donc le tuyau était blanc, ou d'une autre couleur en dedans, il en serait éclairé, et engendrerait par lui-même de nouveaux rayons de lumière, qui ne manqueraient pas de traverser les autres verres, et de troubler la vision, en se mêlant avec les propres rayons des objets.

IV. Mais si l'intérieur du tuyau est teint d'un noir bien foncé, il ne s'y forme point de nouveaux rayons, quelqu'éclairé qu'il puisse être. Cette noirceur est nécessaire par toute la longueur du tuyau, puisqu'il n'y a point de noir si foncé qui, étant éclairé, n'engendre quelque faible lumière; ainsi, quand même quelques rayons étrangers passeraient par le second verre B, le noir du tuyau suivant les éteindrait aisément tout-à-fait. Il y a aussi un noir brillant,

dont il faut bien se garder de se servir.

V. Mais ordinairement cette précaution n'est pas suffisante, on est encore obligé de garnir l'intérieur du tuyau d'un ou de quelques diaphragmes percés d'un petit trou, pour arrêter d'autant mieux la fausse lumière ; mais il faut bien prendre garde que ces diaphragmes n'excluent point les rayons des objets que la lunette doit nous représenter. (Voyez la *fig.* 4, *Planc. X*)

VI. Il faut voir où les propres rayons des objets se trouvent le plus rétrécis dans le tuyau ; ce qui arrive dans le lieu où les images y sont représentées, puisque les rayons sont tous réunis là ensemble. Or, le verre objectif A représente l'image dans son foyer en M, on n'a donc qu'à estimer la grandeur de cette image, et y mettre un diaphragme dont le trou *mm* lui soit égal, ou tant soit peu plus grand. Car, si le trou était plus petit que l'image, on perdrait sur le champ apparent, ce qui serait un grand défaut.

VII. C'est donc ce qu'il y aurait à observer sur le diaphragme dans les lunettes astronomiques composées de deux verres convexes. Dans les lunettes terrestres, il se trouve deux images représentées dans le tuyau, outre la pre-

miere en M représentée par l'objectif dans son foyer, et que le second verre B transporte à l'infini; le troisieme verre C représente encore une image dans son foyer N qui est debout, celle-là étant renversée. C'est donc en N qu'il convient de placer encore un nouveau diaphragme percé d'un trou *nn* de la grandeur de l'image qui s'y trouve.

VIII. Ces diaphragmes, avec le noir de l'intérieur du tuyau, produisent aussi un très-bon effet dans la netteté de l'apparition. Cependant il faut bien observer, que plus le champ que la lunette découvre est grand, moins on pourra s'attendre à ces diaphragmes, puisqu'alors les images deviennent plus grandes, desorte que les trous des diaphragmes doivent être si grands, qu'ils ne sauraient plus arrêter les faux rayons. Mais il faut alors d'autant plus soigneusement bien noircir l'intérieur du tuyau, et le faire plus large, ce qui diminue beaucoup l'effet fâcheux dont je viens de parler.

le 13 *Avril* 1762.



LETTRE

LETTRE CCXXIV.

Je ne doute pas que V. A. ne soit fort aise de se voir enfin délivrée de la seche théorie des lunettes ; qui n'a presque d'autre agrément que celui de mener aux grandes découvertes qu'on a faites par leur secours.

Quelle surprise n'éprouve-t-on pas de voir les objets fort éloignés, aussi bien que s'ils étaient cent et plusieurs fois plus près de nous, sur-tout lorsqu'il nous est impossible d'en approcher, comme il arrive par rapport aux objets célestes ! et V. A. tombera aisément d'accord, qu'à l'aide des lunettes, on a dû découvrir dans les étoiles des choses bien merveilleuses.

En voyant la lune cent fois plus proche qu'elle n'est effectivement, on peut y observer des inégalités très-curieuses, comme des vallées et des hauteurs excessives, qui ressemblent plutôt, par leur régularité, à des ouvrages construits à dessein, qu'à des montagnes. L'on en tire un argument bien fort, pour prouver que la lune est habitée par des créatures raisonnables, quoique la seule contemplation de la toute-puissance, jointe à la souveraine sagesse et bonté du créateur, nous en fournisse de plus convaincans.

C'est ainsi qu'on a fait les découvertes les plus importantes sur les planetes qui, à la simple vue, ne paraissent que des points lumineux, mais qui, regardées à travers de bonnes lunettes, ressemblent à la lune, et paraissent même beaucoup plus grandes encore.

V. A. ne sera pas peu surprise, quand j'aurai l'honneur de l'assurer qu'avec la meilleure lunette, qui grossit plus de 200 fois, les étoiles fixes ne laissent pas de nous paraître comme de points, et même plus petites encore qu'à la vue simple ; ce qui est d'autant plus surprenant, qu'il est certain que la lunette nous les représente telles que nous les verrions, si nous en étions 200 fois plus près. Ne devrait-on pas en conclure que les lunettes perdent leur qualité à cet égard ? Mais cette idée s'évanouit bientôt, quand on considère qu'elles nous découvrent des millions de petites étoiles qui échapperaient entiérement aux yeux sans leur secours. Aussi voyons nous les intervalles qui se trouvent entre les étoiles incomparablement plus grands ; et deux étoiles qui, à la vue simple, paraissent presque se toucher, n'ont besoin que d'être regardées à travers la lunette, pour que l'on remarque entr'elles une distance considérable, ce qui prouve suffisamment l'effet de la lunette.

Quelle est donc la raison qui fait que les étoiles fixes nous paraissent plus petites à travers la lunette qu'à la vue simple? Pour répondre à cette question, je remarque d'abord que les étoiles fixes nous paraissent plus grandes à la vue simple qu'elles ne devraient, et que cela vient d'une fausse lumière qui s'y joint, causée par leur éclat. En effet, quand les rayons qui partent d'une étoile viennent en peindre l'image au fonds de l'œil sur la rétine, nos nerfs n'en sont frappés que dans un point, mais par l'éclat de la lumière, les nerfs voisins en sont aussi ébranlés, et produisent le même sentiment que l'on éprouverait si l'image de l'objet dépeint sur la rétine, était beaucoup plus grande. C'est ce qui arrive quand nous regardons de nuit une lumière fort éloignée. Elle nous paraît beaucoup plus grande, que si nous la voyons de près ; cet aggrandissement n'est causé que par une fausse lueur. Or, plus une lunette grossit, plus cet accident doit diminuer, tant parce que les rayons souffrent quelqu'affaiblissement, que parce que la véritable image sur le fond de l'œil devient plus grande : de-sorte que ce n'est plus un seul point qui soutient toute l'impression des rayons. Ainsi quelque petites que nous paraissent les étoiles à travers une lunette, on peut prononcer hardiment, qu'à la vue sim-

ple, elles nous paraîtraient encore beaucoup plus petites sans cette fausse lumière accidentelle, et cela, autant de fois que la lunette grossit.

Il s'ensuit de-là que, puisque les étoiles fixes ne paraissent que comme des points, malgré qu'elles soient grossies 200 fois, leur éloignement doit être exorbitant. Il sera fort aisé à V. A. de comprendre comment on peut estimer cette distance. Le diamètre du soleil nous paraît sous un angle de 32 minutes : si donc le soleil était 32 fois plus éloigné, il paraîtrait sous un angle d'une minute, et ainsi, beaucoup plus grand encore qu'une étoile vue par la lunette, dont le diametre n'excède pas deux secondes ou la trentieme partie d'une minute. Il faudrait donc que le soleil fût encore 30 fois plus, c'est-à-dire, 960 fois plus éloigné, avant qu'il ne nous parût pas plus grand qu'une étoile fixe observée avec le secours de la lunette. Or les étoiles sont 200 fois plus éloignées de nous que la lunette ne nous les représente, et conséquemment le soleil devrait être 200 fois 960, c'est-à-dire, 192,000 fois plus éloigné qu'il n'est, avant que de ne pas nous paraître plus grand qu'une étoile fixe. Par conséquent, si les étoiles fixes étaient des corps aussi grands que le soleil, leurs distances seraient 192,000 fois plus grandes que celles du soleil : si elles étaient encore plus grandes, leurs distances

devraient être encore autant de fois plus grandes, et en les supposant même plusieurs fois plus petites, leurs distances devraient toujours être plus de mille fois plus grandes que celle du soleil. Or, la distance du soleil est environ de 15,000,000 de milles d'Allemagne.

V. A. ne concevra pas sans-doute, sans le plus grand étonnement, cette distance prodigieuse des étoiles fixes, et l'étendue entière du monde. Quelle doit être la puissance de celui qui a créé cette immensité, et qui en est le maître absolu? Adorons-le avec la plus profonde soumission.

le 17 Avril 1762.

LETTRE CCXXV.

V. A. aura bien déja remarqué que, lorsque la lune se leve, ou se couche, elle nous paraît beaucoup plus grande que lorsqu'elle se trouve au haut du ciel: et tout le monde convient de ce phénomène. On fait la même observation par rapport au soleil. Cette apparence a toujours embarrassé les philosophes, et de quelque manière qu'on l'envisage, on rencontre des difficultés presqu'insurmontables.

Il serait ridicule de vouloir en conclure que le corps de la lune soit en effet plus grand lorsqu'elle paraît dans l'horizon, que lorsqu'elle est plus élevée. Car, outre que cette idée serait absurde en elle-même, il faut considérer que, quand la lune nous paraît à l'horizon, elle paraît à d'autres habitans de la terre plus élevée, et ainsi plus petite. Or, il est impossible que le même corps soit en même tems plus grand et plus petit.

Il serait presqu'aussi ridicule d'expliquer cet étrange phénomène, en supposant que la lune soit plus près de nous lorsqu'elle nous paraît dans l'horizon, que quand elle est fort élevée, par la certitude qu'un corps nous paraît d'autant plus grand qu'il est plus proche de nous; et V. A. sait que plus un objet est éloigné, plus il nous paraît petit. C'est précisément par cette raison que les étoiles nous paraissent si extrêmement petites, quoique leur véritable grandeur soit prodigieuse.

Mais toute probable que semble cette idée, elle ne saurait avoir lieu. Il y a même plus de certitude que la lune est plus éloignée de nous lorsqu'elle se leve ou qu'elle se couche, que lorsqu'elle est plus élevée : en voici la démonstration, (*Planc.* X, *fig.* 5).

Soit le cercle ABD la terre, et que la lune se trouve en L. Cela posé, un ha-

bitant en A verra la lune dans son zénith, ou au plus haut point du ciel. Or, un autre habitant en D, où la ligne DL frise la surface de la terre, verra la lune en même tems dans son horizon, desorte que la lune paraîtra en même tems au spectateur A dans son zénith, et à l'autre spectateur D dans son horizon. Mais il est clair que la dernière distance DL est plus grande que la première AL, et par conséquent la lune est plus éloignée de ceux qui la voyent à l'horizon, que de ceux qui la voyent près de leur zénith. Il s'ensuit ouvertement de-là, que la lune étant vue à l'horizon, devrait nous paraître plus petite, puisqu'elle est effectivement plus éloignée de nous que lorsqu'elle est fort élevée. Il y a donc à s'étonner que nous observions précisément le contraire, et que la lune nous paraisse beaucoup plus grande quand nous la voyons près de l'horizon, qu'au milieu du ciel.

Plus on approfondit ce phénomène, plus on le trouve étrange, et plus il mérite notre attention : puisqu'il est certain que la lune étant plus éloignée à l'horizon, devrait nous paraître plus petite, et que cependant tout le monde soutient unanimement qu'elle paraît alors considérablement plus grande. Cette contradiction est évidente, et semble même renverser tous les principes établis dans l'optique, qui néan-

moins sont aussi bien démontrés que ceux de la géométrie.

Je crois avoir mis dans tout son jour l'embarras où nous nous trouvons à cet égard, pour faire d'autant mieux sentir à V. A. l'importance du véritable dénouement de cette grande difficulté. Sans entrer dans l'examen de ce jugement général de tous les hommes sur la prodigieuse grandeur de la lune dans l'horizon, je m'arrêterai à la question principale : s'il est vrai que la lune étant près de l'horizon, nous paraît effectivement plus grande ?

V. A. sait qu'on a des moyens très-sûrs de mesurer exactement les diametres des corps célestes, en assignant le nombre des degrés et des minutes qu'ils occupent dans le ciel : ou, ce qui revient au même, en mesurant (*Planc. X, fig. 6*), l'angle EOF que forment les lignes EO et FO, tirées des points opposés de la lune, à l'œil du spectateur O ; et cet angle EOF est ce qu'on nomme le diametre apparent de la lune. On a aussi des instrumens très-propres à déterminer exactement cet angle ; or, quand on s'en sert pour mesurer le diametre de la lune, d'abord à son lever, et ensuite lorsqu'elle est montée bien haut dans le ciel, on trouve effectivement son diametre un peu plus petit dans le premier cas que dans

l'autre, comme l'inégalité des distances l'exige. Il n'y a aucun doute à former sur cet article ; mais, par la même raison, notre difficulté, au lieu de diminuer augmente, et l'on demandera avec d'autant plus d'empressement, pourquoi tout le monde juge la lune plus grande à son lever qu'à son coucher, quoique son diametre apparent soit alors effectivement plus petit ? et quelle est la raison de cet éblouissement général chez tous les hommes. L'astronome, qui sait parfaitement que le diametre apparent de la lune est plus petit alors, s'y trompe comme le paysan le plus ignorant.

le 20 Avril 1762.

LETTRE CCXXVI.

V. A. n'aura pas cru que la simple apparition de la lune fût assujettie à tant de difficultés ; mais j'espère les applanir par les réflexions suivantes.

I. Il n'est pas étonnant que notre jugement sur la grandeur des objets ne soit pas d'accord avec l'angle visuel, sous lequel nous le voyons : l'expérience journalière nous en fournit assez de preuves. Un chat, par exemple, se présente de-

vant moi sous un angle plus grand qu'un bœuf à la distance de 100 pas. Cependant je ne m'aviserai pas de juger le chat plus grand que le bœuf : et V. A. voudra bien se souvenir que notre jugement sur la grandeur des choses est toujours très-intimement lié avec celui de la distance ; desorte que si nous nous trompons dans l'estime de la distance, notre jugement sur la grandeur devient nécessairement faux.

II. Pour mieux éclaircir ceci, il arrive quelquefois qu'une mouche passant subitement devant nos yeux, sans que nous y pensions, si notre vue est fixée sur des objets éloignés, nous imaginons d'abord que la mouche est fort éloignée de nous, et comme elle nous paraît sous un angle assez considérable, nous la prenons au premier instant pour un gros oiseau qui, dans l'éloignement, nous paraîtrait sous le même angle. Il est donc incontestable que notre jugement sur la grandeur des objets ne se regle point sur l'angle visuel sous lequel ils sont vus, et qu'il y a une très-grande différence entre la grandeur apparente des objets et la grandeur jugée ou estimée : la premiere se regle sur l'angle visuel, et l'autre dépend de la distance à laquelle nous jugeons que les objets sont éloignés.

III. Pour profiter de cette remarque,

j'observe que nous ne devrions pas dire, que nous voyons la lune plus grande à l'horizon, qu'à une hauteur considérable. Cela est absolument faux, et nous la voyons même tant soit peu plus petite. Mais pour parler exactement, il faut dire que nous jugeons et estimons la lune plus grande, lorsqu'elle se trouve dans l'horizon : et cela est vrai au pied de la lettre, du consentement unanime de tout le monde. Cette remarque suffit pour dissiper la contradiction rapportée ci-dessus ; et rien n'empêche que la lune, à son lever ou à son coucher, ne puisse être jugée ou estimée plus grande, quoiqu'elle soit vue sous un angle plus petit.

IV. Il ne s'agit donc plus d'expliquer pourquoi nous voyons la lune plus grande à l'horizon ; ce qui serait impossible, puisqu'elle nous paraît effectivement plus petite, comme on peut le prouver par la mesure de l'angle visuel. La difficulté se réduit donc à cette question : pourquoi jugeons-nous, ou estimons-nous la lune plus grande alors ? Ou plutôt, il faut rendre raison de cette estime bizarre. La chose n'est plus surprenante en elle-même, puisque nous connaissons mille cas où nous jugeons des objets fort grands, malgré que nous les voyons sous de très-petits angles.

V. Nous n'avons donc qu'à dire que,

lorsque la lune se leve ou se couche, nous la jugeons plus éloignée de nous, que lorsqu'elle est montée à une certaine hauteur. Dès qu'on convient de cette estime, quelle qu'en puisse être la cause, il s'ensuit nécessairement que nous devons aussi juger la lune d'autant plus grande. Car toujours, plus nous estimons qu'un objet est éloigné, plus nous présumons qu'il est grand, et cela précisément dans le même rapport. Dès que je m'imagine par quelqu'illusion que ce soit, qu'une mouche qui passe devant mes yeux se trouve à la distance de 100 pas, je suis obligé, presque malgré moi, de la juger autant de fois plus grande, que 100 pas surpassent la véritable distance de la mouche à mes yeux.

VI. Nous voilà donc réduits à une nouvelle question : pourquoi estimons-nous la lune plus éloignée de nous, lorsqu'elle se trouve dans l'horizon ? Et pourquoi cette illusion est-elle si générale, que personne n'en est exempt ? Car l'illusion de s'imaginer que la lune soit alors beaucoup éloignée de nous est bien étrange. Il est bien vrai que la lune est en effet alors un peu plus éloignée, comme je l'ai fait voir dans ma lettre précédente, mais la différence est si petite, qu'elle ne saurait être sensible. D'ailleurs, le soleil, quoique 100 fois plus éloigné que

la lune, ne nous paraît pas tel, et notre vue rapporte même les étoiles fixes presqu'à la même distance.

VII. Ainsi, quoique la lune étant à l'horizon, soit effectivement un peu plus éloignée, cette circonstance n'entre pour rien dans la question présente, et cette estime universelle, par laquelle tout le monde juge alors la lune à plus de distance qu'elle n'est réellement, doit être fondée sur des raisons tout-à-fait différentes, et capables d'éblouir tout le monde. Car puisque cette estime est indubitablement fausse, il faut que les raisons qui nous y déterminent, soient bien frappantes.

VIII. Plusieurs philosophes, pour expliquer ce phénomene, ont soutenu que la raison en était, que nous découvrons beaucoup d'objets entre nous et la lune, comme des villes, des villages, des forêts et des montagnes, ce qui est cause, selon eux, qu'elle nous paraît alors beaucoup plus éloignée ; au lieu que lorsqu'elle est fort élevée, nous n'observons aucun corps entr'elle et nous ; ainsi, disent-ils, elle doit nous paraître plus près. Mais cette explication, quelqu'ingénieuse qu'elle semble au premier coup d'œil, ne saurait être admise. En regardant la lune dans l'horizon par quelque trou qui nous cache les objets intermédiaires, elle ne laisse

pas de nous paraître plus grande. Outre céla, nous n'estimons pas toujours que les objets, entre lesquels nous découvrons plusieurs autres corps, soient plus eloignés. Une grande salle, par exemple, tout-à-fait vuide, nous paraît ordinairement plus étendue que si elle est remplie de monde, malgré la quantité d'objets que nous voyons alors entre nous et les murailles.

le 24 Avril 1762.

LETTRE CCXXVII.

Nous voilà donc encore fort éloignés de l'explication de cette illusion universelle pour tous les hommes, sans exception, que la lune paraît beaucoup plus grande dans l'horizon, que quand elle est fort élevée. J'ai déja remarqué que ce phénomène est d'autant plus bizarre, que le diametre apparent de la lune est même alors tant soit peu plus petit: desorte qu'on devrait dire que nous ne voyons pas alors la lune plus grande, mais que nous la jugeons telle.

Aussi ai-je observé que très-souvent, notre jugement diffère beaucoup de la vision même. Nous n'hésitons pas, par exemple, de juger qu'un cheval éloigné

de 100 pas est plus grand qu'un chien à un pas de distance ; quoique la grandeur apparente du chien soit sans contredit plus grande, ou, ce qui revient au même, quoique l'image du chien dépeinte au fond de l'œil, soit plus grande que celle du cheval. Notre jugement dans ce cas a égard à la distance, et jugeant le cheval beaucoup plus éloigné que le chien, nous décidons qu'il est beaucoup plus grand.

Il est donc très-vraisemblable que la même circonstance a lieu dans la vision de la lune, et nous fait juger la lune plus éloignée dans l'horizon, que lorsqu'elle est fort élevée. A l'égard du cheval, ce jugement de la distance était fondé sur la vérité; mais ici, comme il est absolument faux, c'est une illusion étrange, qui doit pourtant avoir un certain fondement, puisque tout le monde en convient, et qu'on ne saurait l'attribuer au caprice. En quoi peut-il consister? C'est ce dont je vais entretenir V. A.

I. Tout le monde se représente le bleu du ciel comme une voute applatie, dont le sommet est beaucoup plus près de nous que le bas où elle se confond avec l'horizon. Ainsi, un homme placé sur une plaine A B (*Planc. X, fig. 7*), qui s'étend aussi loin que sa vue, apperçoit la voute du ciel, qu'on nomme com-

munément firmament sous la fig. AEFB; où les distances CA et CB sont beaucoup plus grandes que celle du zénith à C.

II. Cette idée est aussi, sans contredit, une très grande illusion, puisque rien n'est borné ou fermé au-dessus de nous par une telle voute. C'est un vuide d'une étendue immense, puisqu'il va jusqu'aux étoiles fixes les plus éloignées, dont la distance surpasse toute la force de notre imagination. Je me sers du mot vuide, pour l'opposer aux corps grossiers de la terre. Car, près de la terre, c'est notre atmosphère qui occupe l'espace, et, plus loin, c'est cette matière beaucoup plus subtile qu'on nomme l'*éther*.

III. Cependant, quelqu'imaginaire que soit cette voute, elle est très-réelle dans notre imagination, et tous les hommes, savans et idiots, sont dans la même illusion. C'est presque à la surface de cette voute que nous nous représentons le soleil et la lune avec toutes les étoiles, comme des clous brillans qui y sont attachés; et malgré la connaissance que nous avons du contraire, nous ne saurions nous défendre de cette idée illusoire.

IV. Cela posé, lorsque la lune se trouve à l'horizon, notre imagination la rapporte au point A ou B de cette voute prétendue, et c'est par-là que nous esti-

mons

mons alors sa distance d'autant plus grande, que nous jugeons la ligne CA ou CB plus grande que CZ. Mais quand, en montant, elle s'approche du zénith, nous pensons qu'elle s'approche de nous, et si elle atteignait le zénith, nous la croirions alors à sa plus petite distance.

V. L'illusion sur la distance entraîne nécessairement celle sur la grandeur. Puisque la lune en A nous paraît beaucoup plus éloignée de C, que dans le zénith, nous sommes en quelque manière forcés d'en conclure, que la lune même est d'autant plus grande; et cela en même raison que la distance CA nous paraît surpasser celle CZ. Tous les hommes ne seront peut-être pas trop d'accord sur cette proportion; l'un dira que la lune lui paraît deux fois plus grande à l'horizon; un autre trois fois, et la plupart se déclareront pour le milieu entre deux et trois; mais tous se réuniront pour la chose même.

VI. Il est à propos de remettre à cette occasion sous les yeux de V. A. la démonstration de cette conséquence: comment le jugement de la grandeur est une suite nécessaire de l'estime de la distance.

Quand la lune est près de l'horizon, nous la voyons (*Planche X, fig. 8*), sous un certain angle, lequel soit MCA,

le spectateur étant en C : et quand elle est fort élevée, soit NCD, l'angle sous lequel nous la voyons. Il est très-certain que ces deux angles MCA et NCD sont bien à-peu-près égaux entr'eux ; la différence étant insensible.

VII. Mais dans le premier cas, puisque nous estimons la lune beaucoup plus éloignée, ou à la ligne CA, en la rapportant à la voûte imaginaire décrite ci-dessus ; il s'ensuit que nous estimons le diametre de la lune égal à la ligne MA. Mais dans l'autre cas, la distance de la lune CD nous paraît beaucoup plus petite ; et par conséquent, puisque l'angle NCD est égal à MCA, la grandeur estimée DN sera beaucoup plus petite que AM.

VIII. Pour ne laisser aucun doute sur ceci, on n'a qu'à couper les lignes C*d* ; C*n* égales aux lignes CD et CN, et puisque dans le deux triangles C*dn* et CDN, les angles en C sont égaux, les triangles mêmes le sont aussi, et par conséquent la ligne DN sera égale à *dn* ; or *dn* est visiblement plus petite que AM, et cela, autant de fois que la distance *cd* ou CD est plus petite que CA. V. A. doit donc comprendre clairement ce qui nous a fait estimer la lune plus grande à l'horizon que près du zénith.

le 29 Avril 1762.

LETTRE CCXXVIII.

V. A. me reprochera sans doute, que je viens d'expliquer une illusion par une autre qui n'est pas moins bizarre : elle m'objectera que la voûte imaginaire du ciel est aussi inconcevable que l'agrandissement apparent de la lune et des autres astres près de l'horizon. Cette objection est trop bien fondée, pour que je ne doive pas expliquer à V. A. la véritable raison de ce que le ciel nous paraît sous la forme d'une voûte applatie par le haut. Je vais tâcher de m'en acquiter par les réflexions suivantes.

I. Pour rendre raison de cette voûte imaginaire, il faut dire que cela vient de ce que les objets célestes, que nous voyons près de l'horizon, nous paraissent plus éloignés que ceux que nous voyons près du zénith ; et c'est sans doute une pétition de principe très-formelle, que les logiciens ont droit de rejetter, comme un vice insupportable dans nos raisonnemens En effet, après avoir dit plus haut que la voûte imaginaire du ciel nous fait paraître la lune plus éloignée à l'horizon que près

du zénith, il est ridicule de dire, que ce qui nous fait imaginer cette voûte, est que les objets horizontaux nous paraissent plus éloignés que les verticaux.

II. Il n'était cependant pas inutile de parler de cette voûte imaginaire, quoique nous n'en soyons pas plus avancés pour cela; et quand j'aurai expliqué pourquoi les objets célestes nous paraissent plus éloignés lorsque nous les voyons près de l'horizon, V. A. comprendra en même tems la raison de cette double illusion universelle, dont l'une est l'agrandissement apparent des astres dans l'horizon, et l'autre, la voûte applatie du ciel.

III. Tout revient donc à expliquer pourquoi les objets célestes vus à l'horizon, nous paraissent plus éloignés que lorsqu'ils se trouvent à quelque hauteur considérable : je dis maintenant que c'est parce que ces objets nous paraissent moins brillans : ce qui m'impose la double tâche de montrer pourquoi ces objets brillent avec moins d'éclat vers l'horizon, et d'expliquer comment cette circonstance entraîne nécessairement le jugement d'une plus grande distance. J'espère de remplir l'une et l'autre à la satisfaction de V. A.

IV. Le phénomène même ne saurait être

révoqué en doute. Quelque grand que soit vers midi l'éclat du soleil, que personne ne saurait fixer alors, V. A. sait que le matin et le soir, lorsqu'il se leve ou qu'il se couche, on peut le regarder sans en avoir la vue incommodée ; et la même chose arrive par rapport à la lune et à toutes les étoiles, dont l'éclat est extrêmement affoibli dans le voisinage de l'horizon. Aussi ne voit-on pas les plus petites étoiles quand elles ne sont que peu élevées au-dessus de l'horizon, tandis qu'on les voit assez distinctement lorsqu'elles sont parvenues à une certaine hauteur.

V. Ce fait suffisamment constaté, il s'agit de découvrir la cause de cette affaiblissement de lumière. Il est assez clair que nous ne saurions la chercher que dans la nature de notre atmosphère, ou l'air qui environne la terre, en tant qu'il n'est pas parfaitement transparent. Car s'il l'était, desorte que tous les rayons y fussent transmis sans souffrir aucune diminution, il n'est pas douteux que les étoiles devraient toujours briller avec le même éclat, en quelque lieu du ciel qu'elles se trouvassent.

VI. Mais l'air, matière beaucoup moins déliée et moins subtile que l'éther, dont la transparence est parfaite, est tou-

jours chargé de particules hétérogènes qui s'y élevent de la terre, telles que les exhalaisons et les vapeurs, et qui sont nuisibles à sa transparence; ensorte que si quelque rayon rencontre une telle particule, il en est intercepté et presqu'éteint. Aussi est-il évident que, plus l'air est chargé de ces particules qui sont des obstacles à la transmission de la lumière, plus les rayons doivent s'y perdre, et V. A. sait qu'un brouillard fort épais dépouille l'air de presque toute sa transparence, tellement que, souvent on ne peut plus distinguer les objets à trois pas de distance.

VI. Que les points marqués dans la (*Planche X, fig. 9*), représentent de telles parcelles parsemées dans l'air, dont le nombre est plus ou moins grand, selon que l'air est plus ou moins serein. Il est évident que plusieurs des rayons qui traversent cet espace doivent se perdre, et que la perte sera d'autant plus grande, que le trajet qu'ils ont à parcourir dans cet air, sera grand. Nous voyons donc que les objets éloignés deviennent invisibles dans un brouillard, pendant que ceux qui sont fort près de l'œil sont encore apperçus, parceque les rayons des premiers rencontrent en chemin un plus grand

nombre de parcelles qui les arrêtent.

VIII. Il faut en conclure que, plus le trajet que les rayons des astres ont a faire dans l'atmosphère pour parvenir à nos yeux est long, plus leur perte ou affaiblissement doit être considérable. V. A. n'aura plus là-dessus le moindre doute. Il reste donc simplement à prouver que les rayons des étoiles que nous voyons près de notre horizon, ont un chemin beaucoup plus long à parcourir dans notre atmosphère, que lorsqu'elles se trouvent plus près de notre zénith. V. A. comprendra sûrement alors, pourquoi les astres paraissent beaucoup moins brillans près de l'horizon, qu'à leur lever et à leur coucher. Ce sera le sujet de la lettre suivante.

le 1 Mai 1762.

LETTRE CCXXIX.

Ce que je viens d'avancer, que les rayons des astres qui se trouvent à l'horizon ont plus de chemin à parcourir dans notre atmosphère, paraîtra peut-être bien un paradoxe à V. A., vu que l'atmosphère s'étend par-tout à la même hauteur, de sorte qu'en quelque lieu que se trouve une étoile, ses rayons doivent toujours le

pénétrer dans toute sa hauteur avant que de parvenir à nos yeux. J'espère que les réflexions suivantes dissiperont ses doutes.

I. Il faut d'abord se former une idée juste de l'atmosphère qui environne la terre. Pour cet effet, le cercle intérieur ABCD (*Planc. X, fig.* 10) représente la terre, et l'extérieur ponctué *a b c d* termine l'atmosphère. Remarquons que, partout, à mesure que l'air s'élève au-dessus de la surface de la terre, il devient toujours plus subtil et plus rare : desorte qu'il se perd enfin insensiblement avec l'éther, qui remplit tous les espaces célestes.

II. L'air le plus grossier, le plus chargé des parcelles qui éteignent les rayons de lumière, se trouve par-tout en bas près de la surface de la terre. Il devient donc plus rare en montant, moins nuisible à la lumière ; et il est déja si subtil à la hauteur d'un mille d'Allemagne, qu'il ne saurait plus causer de perte sensible à la lumière. On peut donc fixer la distance entre le cercle intérieur et extérieur d'environ un mille, tandis que le demi-diametre de la terre en contient environ 860 : desorte que la hauteur de l'atmosphère est fort peu de chose rélativement à la grandeur du globe de la terre.

III. Considérons maintenant, (*Planc. X*,

fig. 11), un spectateur en A sur la surface de la terre ; et tirant du centre de la terre G par A la ligne G Z, elle sera dirigée vers le zénith du spectateur. La ligne A S, qui est perpendiculaire, et qui touche la terre, sera horizontale pour lui. Conséquemment, il verra une étoile en Z dans le zénith, ou au sommet du ciel ; mais une étoile en S lui paraîtra dans l'horizon à son lever ou à son coucher. Rien n'empêche que nous ne regardions chaque étoile comme infiniment éloignée de la terre, quoique je n'aie pû l'exprimer dans la figure.

IV. V. A. n'a qu'à jetter les yeux sur cette figure, elle verra que les rayons partant de S ont un trajet beaucoup plus long à faire dans l'atmosphère, que ceux de l'étoile Z, avant d'atteindre le spectateur en A. Ceux de l'étoile Z n'ont qu'à traverser la hauteur de l'atmosphère *a*A, qui est à-peu-près d'un mille, et ceux de l'étoile S doivent parcourir tout le chemin *h*A visiblement beaucoup plus long ; et si la figure pouvait mieux répondre à la vérité, desorte que le rayon G A fût 860 fois plus long que la hauteur A *a* ; on verrait que la distance A*h* surpasserait 40 milles.

V. Aussi est-il bon de remarquer que les rayons de l'étoile Z n'ont qu'un très-petit espace à parcourir par la basse atmos-

phère, qui est la plus chargée des vapeurs, au lieu que les rayons de l'étoile S y font un trajet très-considérable, et sont obligés de ramper, pour ainsi dire, sur la surface de la terre. Il est donc très-naturel de conclure que les rayons de l'étoile en Z ne souffrent presqu'aucun affaiblissement, et que ceux de l'étoile S doivent être presqu'éteints, à cause du grand trajet qu'ils ont à parcourir dans l'air grossier.

VI. Il est donc incontestable que les astres que nous voyons à l'horizon, doivent paraître avec un éclat extrêmement affaibli. Et V. A. comprendra fort aisément pourquoi nous pouvons fixer sans peine les yeux sur le soleil levant ou couchant, tandis qu'à midi, que le soleil est haut, son éclat est insupportable. Voilà le premier article que je m'étais proposé de démontrer : il me reste à prouver l'autre ; savoir, que c'est l'affaiblissement de la lumière qui nous force presque à nous représenter les corps célestes comme beaucoup plus éloignés de nous, que si nous les voyons dans leur éclat.

VII. Il faut en chercher la raison dans les objets terrestres que nous voyons tous les jours, et sur la distance desquels nous formons un jugement. Mais par la même raison que les rayons, en passant par l'air,

souffrent quelqu'affaiblissement, il est clair que, plus un objet est éloigné de nous, plus il perd de sa clarté, et plus il en perd, plus il nous paraît obscur. Ainsi une montagne fort éloignée nous paraît très-sombre ; mais si nous en approchons assez, nous distinguons facilement les arbres, ce qui n'est pas possible à un grand éloignement.

VIII. Cette observation si générale, qui ne nous trompe jamais dans les objets terrestres, a produit en nous, dès notre jeunesse, ce principe fondamental, par lequel nous jugeons les objets d'autant plus éloignés, que les rayons qui nous en viennent ont été affaiblis. C'est donc en vertu de ce principe que nous estimons la lune beaucoup plus éloignée de nous à son lever ou à son coucher, que quand elle a déja atteint une hauteur considérable, et par la même raison, nous la jugeons d'autant plus grande. Je me flatte que V. A. trouvera ces raisons parfaitement bien fondées, et ce phénomène bisarre aussi bien éclairci qu'il soit possible.

le 4 Mai 1762.

LETTRE CCXXX.

Le principe de notre imagination, par lequel je viens d'expliquer ce phénomène de la lune beaucoup plus grande près de l'horizon qu'au milieu du ciel, est tellement enraciné dans notre esprit, qu'il est la source de mille autres illusions, dont je me contenterai de mettre quelques-unes sous les yeux de V. A.

Dès notre jeunesse, nous nous sentons entraînés, comme malgré nous, à juger les objets d'autant plus éloignés, que leur éclat est plus affaibli : et, d'un autre côté, les objets fort brillans nous paroissent plus proches qu'ils ne le sont. Cette illusion ne peut venir que d'une imagination peu reglée, qui nous mène très-souvent au faux. Elle nous est néanmoins si naturelle, et elle est si universelle, qu'il n'y a personne qui soit maître de s'en garantir, quoique l'erreur qui en résulte soit souvent très-manifeste, comme j'ai eu l'honneur de le faire remarquer à V. A. par rapport à la lune : mais nous sommes trompés encore en quantité d'autres occasions, dont je vais développer quelques-unes.

I. C'est une illusion fort connue que,

de nuit, le feu d'une incendie nous paraît beaucoup plus proche qu'il n'est effectivement. La raison en est bien claire : le feu brille avec un très-grand éclat, et selon le principe établi de notre imagination, nous l'estimons toujours plus près qu'il n'est.

II. C'est ainsi qu'une grande salle, dont les parois sont bien blanchis, nous paraît toujours plus petite. V. A. sait que le blanc est de la couleur la plus brillante : nous estimons donc les murailles de cette salle trop proches de nous; et par conséquent, l'étendue apparente en est diminuée.

III. Or, dans une salle dont les murailles sont couvertes de drap noir, suivant l'usage des grands deuils, nous éprouvons un effet entièrement contraire. Une chambre nous paraît alors beaucoup plus spacieuse qu'elle n'est effectivement : le noir est sans doute la couleur la plus sombre, puisqu'elle ne renvoye presqu'aucune lumière dans nos yeux; c'est pourquoi, il nous semble que les parois noirs sont beaucoup plus éloignés de nous qu'ils ne le sont en effet. Une chambre dont on couvre les murailles de toile noire paraîtra donc plus grande; et si, au contraire, on les fait bien blanchir, elle paraîtra plus petite.

IV. Personne ne profite mieux de cette illusion si naturelle et si commune à tous les hommes que les peintres. V. A. sait que le même tableau nous représente des objets dont quelques uns paraissent extrêmement éloignés, pendant que d'autres semblent fort proches ; et c'est en quoi consiste la plus grande ressource d'un habile peintre. Il est bien surprenant que, malgré que nous sachions très-certainement que toutes les représentations d'un tableau sont exprimées sur la même surface, et ainsi à-peu-près à une égale distance de nos yeux, nous n'en soyons pas moins trompés, et que nous jugions les unes fort loin, et les autres fort près. On attribue communément cette illusion à un mêlange adroit de lumière et d'ombre, qui fournit effectivement aux peintres les plus grands secours. Mais V. A. n'a qu'à considérer un tableau, pour s'appercevoir que les objets qui doivent nous paraître fort éloignés, sont exprimés faiblement et assez indistinctement. Ainsi, quand nous portons notre vue sur des objets fort éloignés, nous appercevons bien, par exemple, des personnes, mais sans que nous puissions en distinguer les yeux, le nez, ni la bouche ; et c'est conformément à cette apparence que le peintre repré-

sente les objets. Quant à ceux que nous devons estimer fort près de nous, le peintre leur donne les plus vives couleurs, et prend la peine d'y exprimer soigneusement toutes les minuties. Si ce sont des personnes, nous y distinguons les moindres linéamens du visage, les plis de l'habit, etc. cette représentation semble, pour ainsi dire, sortir alors du tableau, tandis que d'autres y paraissent enfoncées et fort reculées.

V. C'est donc uniquement sur cette illusion qu'est fondé tout l'art de la peinture. Si nous étions accoutumés à juger selon la vérité, cet art ne saurait plus avoir lieu dans toutes ses parties, pas plus que si nous étions aveugles. Le peintre aurait beau faire valoir tout son talent dans le mélange des couleurs, nous dirions, voilà sur cette table, ici une tache rouge, là une bleue, ici un trait noir, là, quelques lignes blanchâtres : tout se trouve sur la même surface, il n'y a nulle part ni enfoncement, ni élévation, ainsi aucun objet réel ne saurait être représenté de cette manière : on ne saurait alors le regarder autrement que comme une écriture sur le papier, et l'on se fatiguerait peut-être inutilement à vouloir deviner la signification de toutes les taches diversement colorées. Ne serions-

nous pas fort à plaindre dans cet état de perfection, d'être privés des plaisirs que nous procure tous les jours un art si amusant et si instructif.

le 8 Mai 1762.

LETTRE CCXXXI.

V. A. vient de comprendre la cause de l'illusion par laquelle la lune, ainsi que le soleil, nous paraissent beaucoup plus grands dans l'horizon, qu'à une hauteur considérable, consistant en ce que nous estimons alors ces corps plus éloignés de nous, estime fondée sur ce que leur lumière souffre alors un affaiblissement considérable, par le long trajet qu'elle fait à travers l'atmosphère dans la basse région, qui est la plus chargée de vapeurs et d'exhalaisons, qui diminuent la transparence. Tel est le résumé des réflexions que j'ai eu l'honneur de proposer à V. A. sur ce sujet.

Cette qualité de l'air qui diminue sa transparence, pourrait être regardée au premier coup d'œil comme un défaut. Mais si nous en considérons les suites, nous trouvons que, bien loin que c'en soit un, nous devons au contraire y reconnaître

connaître la sagesse et la bonté infinie du créateur. C'est à cette impureté de l'air que nous sommes redevables du spectacle merveilleux et ravissant que nous offre le bleu du ciel; car les particules opaques, qui arrêtent les rayons de lumière, en sont éclairées, et nous renvoyent ensuite leurs propres rayons, produits dans leur surface par un trémoussement violent, comme il arrive dans tous les corps opaques. Or, c'est le nombre de vibrations qu'elles reçoivent, qui nous représente ce magnifique bleu. Cette circonstance mérite bien que je la développe clairement.

I. J'observe d'abord que ces particules sont extrêmement petites et fort éloignées entr'elles, outre qu'elles sont très-déliées, et presque tout-à-fait transparentes. De-là vient que chacune séparément n'est absolument point perceptible, et que nous ne pouvons en être affectés que quand un très-grand nombre envoye ses rayons à la fois, et presque selon la même direction, dans nos yeux. Il faut donc la réunion des rayons de plusieurs, pour exciter une sensation.

II. Il s'ensuit donc clairement que celles de ces particules qui sont près de nous, échappent à nos sens, puisqu'il faut les considérer comme des points dispersés par la masse de l'air.

Mais celles qui sont fort éloignées de l'œil, comme (*Planc. XI*, *fig.* 1) les points *a*, *b*, *c*, réunissent dans l'œil, presque selon la même direction, leurs rayons qui, par là, deviennent assez forts pour frapper notre vue, sur-tout quand on considère que des particules semblables plus éloignées *e*, *f*, *g*, *h*, ainsi que d'autres plus voisines, concourent à produire cet effet.

III. La couleur bleue que nous voyons dans le ciel, lorsqu'il est sérin, n'est donc autre chose que le résultat de toutes ces particules dispersées dans l'atmosphère, et principalement de celles qui sont fort éloignées de nous ; on peut donc bien dire qu'elles sont bleues de leur nature, mais d'un bleu extrêmement clair, qui ne devient assez foncé et sensible, que lorsqu'elles sont en très-grand nombre, et qu'elles joignent ensemble leurs rayons selon la même direction.

IV. L'art produit un effet semblable. Si, en dissolvant une petite quantité d'indigo dans une grande quantité d'eau, on laisse tomber cette eau par gouttes, on n'y remarque pas la moindre teinture, et si l'on en verse dans un petit goblet, on n'y verra qu'une couleur bleuâtre très-faible. Mais qu'on en remplisse un grand vase, et qu'on le regarde de loin, on y voit un bleu très-foncé. La même expé-

rience peut se faire avec d'autres couleurs. C'est ainsi que le vin de Bourgogne, en très-petite quantité, paraît à peine un peu rougeâtre, et que dans une grande phiole bien remplie, la couleur rouge paraîtra très-foncée.

V. L'eau, dans un bassin grand et profond, paraît toujours avoir une certaine couleur, quoiqu'une petite quantité soit tout-à-fait claire et limpide. Cette couleur est ordinairement plus ou moins verdâtre; ce qui fait dire que les dernières particules de l'eau le sont aussi, mais d'une couleur extrêmement déliée; desorte qu'il faut en regarder un grand volume, avant de s'en appercevoir, parce que les rayons de plusieurs particules se joignent alors ensemble pour produire cet effet.

VI. Comme il paraît probable par cette observation, que les dernières particules de l'eau sont verdâtres, on pourrait soutenir que la même raison par laquelle la mer, ou l'eau d'un lac et d'un étang, nous paraissent vertes, est celle par laquelle le ciel nous paraît bleu. Car il est plus vraisemblable que toutes les particules de l'air ayent une légère teinture de bleu, mais si faible, qu'elle ne s'apperçoit que quand on regarde une masse immense, comme toute l'étendue de l'atmosphère, qu'il ne l'est d'attribuer cette

parfaitement transparent et dépouillé de ces particules bleuâtres ; mais c'est encore un nouveau sujet pour nous de reconnaître et admirer la bonté infinie et la sagesse du Créateur.

Supposons, pour en convaincre parfaitement V. A., que l'air soit tout-à-fait transparent et semblable à l'éther, qui, comme nous le savons, transmet tous les rayons des étoiles sans en arrêter aucun, et ne contient point de particules éclairées elles-mêmes par les rayons, parce qu'une telle particule ne saurait l'être sans intercepter quelques rayons qui y tombent. Si l'air se trouvait dans cet état, les rayons du soleil le traverseraient librement, sans qu'aucune lumière en fut renvoyée dans nos yeux : nous ne recevrions que les rayons qui viennent immédiatement du soleil. Le ciel entier, excepté le lieu où est le soleil, nous paraîtrait donc tout-à-fait obscur, et, au lieu de ce bleu brillant, nous n'y découvririons, en regardant en haut, qu'un noir très-foncé et la nuit la plus obscure.

La (*Planche XI, figure 2*) représente le soleil, et le point O est un spectateur dont l'œil ne recevrait d'autres rayons d'en haut que du soleil, desorte que toute la clarté serait renfermée dans le petit angle EOF. En portant sa vue vers une autre région du ciel, comme vers M, on

n'en recevrait aucun rayon, et il en serait comme si l'on regardait dans un lieu entiérement obscur ; or, tout endroit qui n'envoie aucuns rayons de lumière est noir. Je fais abstraction des étoiles dont le ciel est rempli ; car, en dirigeant l'œil vers M, rien n'empêche que les rayons des étoiles qui se trouvent dans cette région n'y entrent, et ils auraient même d'autant plus de force, qu'ils ne souffriraient aucun affaiblissement par l'atmosphére, telle que je viens de la supposer. On verrait donc toutes les étoiles en plein jour, comme dans la nuit la plus obscure ; mais il faut considérer que ce plein jour se réduirait au seul petit angle EOF, tout le reste du ciel étant aussi obscur que la nuit.

Cependant, près du soleil, les étoiles nous seraient invisibles, et nous ne verrions point, par exemple, l'étoile N, puisqu'en la regardant, notre œil recevrait en même tems les rayons du soleil, desquels il serait frappé si vivement, que la faible lumière de l'étoile ne saurait y exciter de sensations. Je ne parle pas de l'impossibilité qu'il y aurait à tenir l'œil ouvert, en voulant regarder vers N ; cela est trop sensible pour ne pas être entendu.

Mais en opposant au soleil un corps opaque, qui en interceptât les rayons,

on ne manquerait pas de voir l'étoile N, quelque proche qu'elle fut du soleil : V. A. compsendra aisement dans quel triste état nous serions alors. Ce voisinage, du plus grand éclat, et des ténèbres les plus sombres, blesserait notre vue, au point que nous en deviendrions d'abord aveugles. On peut en juger par l'incommodité que nous ressentons en passant subitement d'un lieu obscur dans un autre fort éclairé.

C'est donc à ce grand inconvénient que remédie la nature de l'air, en tant qu'il contient des particules tant soit peu opaques et susceptibles d'illumination. Alors, dès que le soleil se leve au-dessus de l'horizon, et même déja un peu auparavant, toute l'atmosphère en devient éclairée, et nous présente ce beau bleu, dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A.; desorte que nos yeux, quelque part que nous les dirigions, en reçoivent quantité de rayons engendrés dans les mêmes particules. Aussi en regardant vers M (*Planc. XI, fig. 2*), appercevons-nous une très-grande clarté provenant de ce bleu brillant du ciel.

Cette même clarté nous empêche de voir les étoiles pendant le jour : la raison en est évidente. Elle surpasse de beaucoup celle des étoiles, et une grande clarté en fait disparaître une plus petite; or les nerfs de la retine au fond de l'œil,

étant déja frappés par une lumière très-forte, ne seraient plus sensibles à la faible impression des étoiles.

V. A. doit se rappeller que le clair de la pleine lune est plus de 300,000 fois plus faible que celui du soleil, pour se convaincre que la clarté qui nous vient des étoiles, n'est rien en comparaison de celle du soleil. Or, la clarté du ciel pendant le jour est déja si éclatante, que quoique le soleil soit couvert, elle surpasse encore plusieurs mille fois celle de la pleine lune.

V. A. aura bien apperçu que, de nuit, lorsque la lune est pleine, les étoiles paraissent beaucoup moins brillantes, et qu'on ne voit que les plus grandes, sur-tout dans son voisinage, desorte qu'une grande lumière étouffe toujours une plus faible.

C'est donc un très-grand avantage que notre atmosphère commence à être éclairée par le soleil, avant même qu'il se leve, parce que cela nous dispose à soutenir la vivacité de son éclat qui serait insupportable, si le passage de la nuit au jour était subit. Le tems, pendant lequel l'atmosphère devient éclairée avant le lever du soleil, et conserve encore de la clarté après le coucher, s'appelle crépuscule. Ce sujet mérite par son importance, d'être bien considéré, et je me propose d'en entretenir plus amplement

V. A. C'est ainsi qu'un article de physique en amène un autre.

le 15 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXXIII.

POUR expliquer la cause des crépuscules, ou de cette clarté du ciel qui précéde le lever du soleil, et qu'on voit après son coucher, V. A. n'a qu'à se rappeller ce que j'ai déja eu le l'honneur de lui dire touchant l'horizon et l'atmosphère.

Que le cercle AOBD, (*Planc. XI, fig.* 3), représente la terre, et le cercle ponctué *a o b d*, l'atmosphère : considérons un lieu sur la terre O, par laquelle on tire une ligne droite HORI, qui touche la terre en O, et cette ligne HI représentera l'horizon, qui sépare la partie du ciel qui nous est visible de celle qui ne l'est pas. Dès que le soleil atteint cette ligne, il paraît donc dans l'horizon, en se levant ou en se couchant, et toute l'atmosphère en est alors éclairée. Mais supposons que le soleil, avant que de se lever, se trouve encore au-dessous de la terre en S ; d'où le rayon STR, frisant la terre en T, puisse atteindre le point de l'atmosphère situé dans notre horizon,

les particules opaques qui s'y trouvent en seront déja éclairées, et, par conséquent, nous deviendront visibles. Ainsi, quelque tems déja avant le lever du soleil, l'atmosphère *ho* R sur notre horizon, commence à être éclairée en R, et, à mesure que le soleil s'approche de l'horizon, une plus grande partie en sera éclairée, jusqu'à ce qu'elle devienne tout-à-fait lumineuse.

Cette considération me conduit à un autre phénomène autant intéressant, et qui lui est très-étroitement lié, c'est que l'atmosphère nous fait encore appercevoir le soleil et les autres astres, quelque tems avant qu'ils se levent au-dessus de notre horizon, et quelque tems après leur coucher, par la réfraction que les rayons souffrent en passant de l'éther pur dans l'air grossir, qui constitue notre atmosphère; je vais en donner l'explication.

I. Les rayons de lumière ne continuent leur route en ligne droite, qu'entant qu'ils se meuvent dans un milieu transparent de la même nature. Dès qu'ils passent d'un milieu dans un autre, ils sont détournés de leur route rectiligne, et leur chemin devient comme rompu; c'est ce que l'on nomme la réfraction, dont j'ai eu l'honneur d'entretenir assez long-tems V. A., en expliquant com-

ment les rayons, en passant de l'air dans le verre, et réciproquement souffrent une réfraction.

II. Or l'éther et l'air étant deux milieux différens, lorsqu'un rayon passe de l'éther dans l'air, il faut nécessairement qu'il éprouve quelque réfraction.

Ainsi l'arc du cercle AMB (*Planc.* XI, *fig.* 4,) terminant notre atmosphère en haut, si un rayon de lumière M S de l'éther y tombe en M, il ne continuera pas sa route suivant la même ligne droite MN, mais il prendra, en entrant dans l'air, la route Mα, un peu différente de MN, et l'angle N M α est nommé l'angle de réfraction, ou simplement la réfraction.

III. J'ai déjà remarqué que la réfraction est d'autant plus grande, que le rayon S M tombe plus obliquement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle B M S est plus petit ou plus aigu. Car si le rayon SM tombait perpendiculairement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle B M S fut droit, il n'y aurait point de réfraction, mais le rayon continuerait sa route selon la même ligne droite. Cette règle est générale dans toutes les réfractions, de quelque nature que soient les deux milieux que les rayons traversent.

IV. Que l'arc de cercle AOB (*Planc.* XI, *fig.* 5), représente la surface de la terre,

IV. Personne ne profite mieux de cette illusion si naturelle et si commune à tous les hommes que les peintres. V. A. sait que le même tableau nous représente des objets dont quelques uns paraissent extrêmement éloignés, pendant que d'autres semblent fort proches ; et c'est en quoi consiste la plus grande ressource d'un habile peintre. Il est bien surprenant que, malgré que nous sachions très-certainement que toutes les représentations d'un tableau sont exprimées sur la même surface, et ainsi à-peu-près à une égale distance de nos yeux, nous n'en soyons pas moins trompés, et que nous jugions les unes fort loin, et les autres fort près. On attribue communément cette illusion à un mêlange adroit de lumière et d'ombre, qui fournit effectivement aux peintres les plus grands secours. Mais V. A. n'a qu'à considérer un tableau, pour s'appercevoir que les objets qui doivent nous paraître fort éloignés, sont exprimés faiblement et assez indistinctement. Ainsi, quand nous portons notre vue sur des objets fort éloignés, nous appercevons bien, par exemple, des personnes, mais sans que nous puissions en distinguer les yeux, le nez, ni la bouche ; et c'est conformément à cette apparence que le peintre repré-

sente les objets. Quant à ceux que nous devons estimer fort près de nous, le peintre leur donne les plus vives couleurs, et prend la peine d'y exprimer soigneusement toutes les minuties. Si ce sont des personnes, nous y distinguons les moindres linéamens du visage, les plis de l'habit, etc. cette représentation semble, pour ainsi dire, sortir alors du tableau, tandis que d'autres y paraissent enfoncées et fort reculées.

V. C'est donc uniquement sur cette illusion qu'est fondé tout l'art de la peinture. Si nous étions accoutumés à juger selon la vérité, cet art ne saurait plus avoir lieu dans toutes ses parties, pas plus que si nous étions aveugles. Le peintre aurait beau faire valoir tout son talent dans le mélange des couleurs, nous dirions, voilà sur cette table, ici une tache rouge, là une bleue, ici un trait noir, là, quelques lignes blanchâtres : tout se trouve sur la même surface, il n'y a nulle part ni enfoncement, ni élévation, ainsi aucun objet réel ne saurait être représenté de cette manière : on ne saurait alors le regarder autrement que comme une écriture sur le papier, et l'on se fatiguerait peut-être inutilement à vouloir deviner la signification de toutes les taches diversement colorées. Ne serions-

nous pas fort à plaindre dans cet état de perfection, d'être privés des plaisirs que nous procure tous les jours un art si amusant et si instructif.

le 8 Mai 1762.

LETTRE CCXXXI.

V. A. vient de comprendre la cause de l'illusion par laquelle la lune, ainsi que le soleil, nous paraissent beaucoup plus grands dans l'horizon, qu'à une hauteur considérable, consistant en ce que nous estimons alors ces corps plus éloignés de nous, estime fondée sur ce que leur lumière souffre alors un affaiblissement considérable, par le long trajet qu'elle fait à travers l'atmosphère dans la basse région, qui est la plus chargée de vapeurs et d'exhalaisons, qui diminuent la transparence. Tel est le résumé des réflexions que j'ai eu l'honneur de proposer à V. A. sur ce sujet.

Cette qualité de l'air qui diminue sa transparence, pourrait être regardée au premier coup d'œil comme un défaut. Mais si nous en considérons les suites, nous trouvons que, bien loin que c'en soit un, nous devons au contraire y re-

connaître

connaître la sagesse et la bonté infinie du créateur. C'est à cette impureté de l'air que nous sommes redevables du spectacle merveilleux et ravissant que nous offre le bleu du ciel; car les particules opaques, qui arrêtent les rayons de lumière, en sont éclairées, et nous renvoyent ensuite leurs propres rayons, produits dans leur surface par un trémoussement violent, comme il arrive dans tous les corps opaques. Or, c'est le nombre de vibrations qu'elles reçoivent, qui nous représente ce magnifique bleu. Cette circonstance mérite bien que je la développe clairement.

I. J'observe d'abord que ces particules sont extrêmement petites et fort éloignées entr'elles, outre qu'elles sont très-déliées, et presque tout-à-fait transparentes. De-là vient que chacune séparément n'est absolument point perceptible, et que nous ne pouvons en être affectés que quand un très-grand nombre envoye ses rayons à la fois, et presque selon la même direction, dans nos yeux. Il faut donc la réunion des rayons de plusieurs, pour exciter une sensation.

II. Il s'ensuit donc clairement que celles de ces particules qui sont près de nous, échappent à nos sens, puisqu'il faut les considérer comme des points dispersés par la masse de l'air.

Mais celles qui sont fort éloignées de l'œil, comme (*Planc. XI*, *fig.* 1) les points *a*, *b*, *c*, réunissent dans l'œil, presque selon la même direction, leurs rayons qui, par là, deviennent assez forts pour frapper notre vue, sur-tout quand on considère que des particules semblables plus éloignées *e*, *f*, *g*, *h*, ainsi que d'autres plus voisines, concourent à produire cet effet.

III. La couleur bleue que nous voyons dans le ciel, lorsqu'il est sérin, n'est donc autre chose que le résultat de toutes ces particules dispersées dans l'atmosphère, et principalement de celles qui sont fort éloignées de nous ; on peut donc bien dire qu'elles sont bleues de leur nature, mais d'un bleu extrêmement clair, qui ne devient assez foncé et sensible, que lorsqu'elles sont en très-grand nombre, et qu'elles joignent ensemble leurs rayons selon la même direction.

IV. L'art produit un effet semblable. Si, en dissolvant une petite quantité d'indigo dans une grande quantité d'eau, on laisse tomber cette eau par gouttes, on n'y remarque pas la moindre teinture, et si l'on en verse dans un petit goblet, on n'y verra qu'une couleur bleuâtre très-faible. Mais qu'on en remplisse un grand vase, et qu'on le regarde de loin, on y voit un bleu très-foncé. La même expé-

rience peut se faire avec d'autres couleurs. C'est ainsi que le vin de Bourgogne, en très-petite quantité, paraît à peine un peu rougeâtre, et que dans une grande phiole bien remplie, la couleur rouge paraîtra très-foncée.

V. L'eau, dans un bassin grand et profond, paraît toujours avoir une certaine couleur, quoiqu'une petite quantité soit tout-à-fait claire et limpide. Cette couleur est ordinairement plus ou moins verdâtre; ce qui fait dire que les dernières particules de l'eau le sont aussi, mais d'une couleur extrêmement déliée; desorte qu'il faut en regarder un grand volume, avant de s'en appercevoir, parce que les rayons de plusieurs particules se joignent alors ensemble pour produire cet effet.

VI. Comme il paraît probable par cette observation, que les dernières particules de l'eau sont verdâtres, on pourrait soutenir que la même raison par laquelle la mer, ou l'eau d'un lac et d'un étang, nous paraissent vertes, est celle par laquelle le ciel nous paraît bleu. Car il est plus vraisemblable que toutes les particules de l'air ayent une légère teinture de bleu, mais si faible, qu'elle ne s'apperçoit que quand on regarde une masse immense, comme toute l'étendue de l'atmosphère, qu'il ne l'est d'attribuer cette

parfaitement transparent et dépouillé de ces particules bleuâtres ; mais c'est encore un nouveau sujet pour nous de reconnaître et admirer la bonté infinie et la sagesse du Créateur.

Supposons, pour en convaincre parfaitement V. A., que l'air soit tout-à-fait transparent et semblable à l'éther, qui, comme nous le savons, transmet tous les rayons des étoiles sans en arrêter aucun, et ne contient point de particules éclairées elles-mêmes par les rayons, parce qu'une telle particule ne saurait l'être sans intercepter quelques rayons qui y tombent. Si l'air se trouvait dans cet état, les rayons du soleil le traverseraient librement, sans qu'aucune lumière en fut renvoyée dans nos yeux : nous ne recevrions que les rayons qui viennent immédiatement du soleil. Le ciel entier, excepté le lieu où est le soleil, nous paraîtrait donc tout-à-fait obscur, et, au lieu de ce bleu brillant, nous n'y découvririons, en regardant en haut, qu'un noir très-foncé et la nuit la plus obscure.

La (*Planche XI, figure 2*) représente le soleil, et le point O est un spectateur dont l'œil ne recevrait d'autres rayons d'en haut que du soleil, desorte que toute la clarté serait renfermée dans le petit angle EOF. En portant sa vue vers une autre région du ciel, comme vers M, on

n'en recevrait aucun rayon, et il en serait comme si l'on regardait dans un lieu entiérement obscur ; or, tout endroit qui n'envoie aucuns rayons de lumière est noir. Je fais abstraction des étoiles dont le ciel est rempli ; car, en dirigeant l'œil vers M, rien n'empêche que les rayons des étoiles qui se trouvent dans cette région n'y entrent, et ils auraient même d'autant plus de force, qu'ils ne souffriraient aucun affaiblissement par l'atmosphére, telle que je viens de la supposer. On verrait donc toutes les étoiles en plein jour, comme dans la nuit la plus obscure ; mais il faut considérer que ce plein jour se réduirait au seul petit angle EOF, tout le reste du ciel étant aussi obscur que la nuit.

Cependant, près du soleil, les étoiles nous seraient invisibles, et nous ne verrions point, par exemple, l'étoile N, puisqu'en la regardant, notre œil recevrait en même tems les rayons du soleil, desquels il serait frappé si vivement, que la faible lumière de l'étoile ne saurait y exciter de sensations. Je ne parle pas de l'impossibilité qu'il y aurait à tenir l'œil ouvert, en voulant regarder vers N ; cela est trop sensible pour ne pas être entendu.

Mais en opposant au soleil un corps opaque, qui en interceptât les rayons,

on ne manquerait pas de voir l'étoile N; quelque proche qu'elle fut du soleil : V. A. compsendra aisement dans quel triste état nous serions alors. Ce voisinage, du plus grand éclat, et des ténèbres les plus sombres, blesserait notre vûe, au point que nous en deviendrions d'abord aveugles. On peut en juger par l'incommodité que nous ressentons en passant subitement d'un lieu obscur dans un autre fort éclairé.

C'est donc à ce grand inconvénient que remédie la nature de l'air, en tant qu'il contient des particules tant soit peu opaques et susceptibles d'illumination. Alors, dès que le soleil se leve au-dessus de l'horizon, et même déja un peu auparavant, toute l'atmosphère en devient éclairée, et nous présente ce beau bleu, dont j'ai eu l'honneur de parler à V. A.; desorte que nos yeux, quelque part que nous les dirigions, en reçoivent quantité de rayons engendrés dans les mêmes particules. Aussi en regardant vers M (*Planc. XI, fig. 2*), appercevons-nous une très-grande clarté provenant de ce bleu brillant du ciel.

Cette même clarté nous empêche de voir les étoiles pendant le jour : la raison en est évidente. Elle surpasse de beaucoup celle des étoiles, et une grande clarté en fait disparaître une plus petite; or les nerfs de la retine au fond de l'oeil,

étant déja frappés par une lumière très-forte, ne seraient plus sensibles à la faible impression des étoiles.

V. A. doit se rappeller que le clair de la pleine lune est plus de 300,000 fois plus faible que celui du soleil, pour se convaincre que la clarté qui nous vient des étoiles, n'est rien en comparaison de celle du soleil. Or, la clarté du ciel pendant le jour est déja si éclatante, que quoique le soleil soit couvert, elle surpasse encore plusieurs mille fois celle de la pleine lune.

V. A. aura bien apperçu que, de nuit, lorsque la lune est pleine, les étoiles paraissent beaucoup moins brillantes, et qu'on ne voit que les plus grandes, sur-tout dans son voisinage, desorte qu'une grande lumière étouffe toujours une plus faible.

C'est donc un très-grand avantage que notre atmosphère commence à être éclairée par le soleil, avant même qu'il se leve, parce que cela nous dispose à soutenir la vivacité de son éclat qui serait insupportable, si le passage de la nuit au jour était subit. Le tems, pendant lequel l'atmosphère devient éclairée avant le lever du soleil, et conserve encore de la clarté après le coucher, s'appelle crépuscule. Ce sujet mérite par son importance, d'être bien considéré, et je me propose d'en entretenir plus amplement

V. A. C'est ainsi qu'un article de physique en amène un autre.

le 15 *Mai* 1762.

LETTRE CCXXXIII.

POUR expliquer la cause des crépuscules, ou de cette clarté du ciel qui précéde le lever du soleil, et qu'on voit après son coucher, V. A. n'a qu'à se rappeller ce que j'ai déja eu le l'honneur de lui dire touchant l'horizon et l'atmosphère.

Que le cercle AOBD, (*Planc. XI, fig.* 3), représente la terre, et le cercle ponctué *a o b d*, l'atmosphère : considérons un lieu sur la terre O, par laquelle on tire une ligne droite HORI, qui touche la terre en O, et cette ligne HI représentera l'horizon, qui sépare la partie du ciel qui nous est visible de celle qui ne l'est pas. Dès que le soleil atteint cette ligne, il paraît donc dans l'horizon, en se levant ou en se couchant, et toute l'atmosphère en est alors éclairée. Mais supposons que le soleil, avant que de se lever, se trouve encore au-dessous de la terre en S ; d'où le rayon STR, frisant la terre en T, puisse atteindre le point de l'atmosphère situé dans notre horizon,

ment les rayons, en passant de l'air dans le verre, et réciproquement souffrent une réfraction.

II. Or l'éther et l'air étant deux milieux différens, lorsqu'un rayon passe de l'éther dans l'air, il faut nécessairement qu'il éprouve quelque réfraction.

Ainsi l'arc du cercle AMB (*Planc.* XI, *fig.* 4,) terminant notre atmosphère en haut, si un rayon de lumière M S de l'éther y tombe en M, il ne continuera pas sa route suivant la même ligne droite MN, mais il prendra, en entrant dans l'air, la route M*a*, un peu différente de MN, et l'angle N M *a* est nommé l'angle de réfraction, ou simplement la réfraction.

III. J'ai déja remarqué que la réfraction est d'autant plus grande, que le rayon S M tombe plus obliquement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle BMS est plus petit ou plus aigu. Car si le rayon SM tombait perpendiculairement sur la surface de l'atmosphère, ou que l'angle B MS fut droit, il n'y aurait point de réfraction, mais le rayon continuerait sa route selon la même ligne droite. Cette règle est générale dans toutes les réfractions, de quelque nature que soient les deux milieux que les rayons traversent.

IV. Que l'arc de cercle AOB (*Planc.* XI, *fig.* 5), représente la surface de la terre,

et que l'arc EMF termine l'atmosphère. Si l'on tire en O la ligne OMV, qui touche la surface de la terre en O, elle sera horizontale. Et si le soleil se trouve encore au-dessous de l'horizon en S, desorte qu'il nous soit encore invisible, puisqu'aucun de ses rayons ne pourrait arriver jusqu'à nous en ligne droite, le rayon SM, étant continué en ligne droite passerait au-dessus de nous en N; mais comme il tombe en M sur l'atmosphère, et très-obliquement, l'angle FMS étant très-petit, il y souffrira une réfraction assez considérable; et au lieu de passer en N, il pourra parvenir précisément en O, desorte que le soleil nous soit déja visible, quoiqu'il se trouve encore au-dessous de l'horizon en S, ou ce qui revient au même, au dessous de la ligne horizontale OMV.

V. Cependant, comme le rayon MO, qui entre dans nos yeux est horizontal, nous rapportons dans notre jugement le soleil à la même direction, et nous nous imaginons qu'il se trouve en V, ou dans l'horizon, quoiqu'il soit au-dessous. Et réciproquement, toutes les fois que nous voyons le soleil, ou tout autre astre dans l'horizon, nous devons juger qu'il est au-dessous, selon l'angle SMV, que les astronomes ont observé être d'environ un demi-degré,

ou, plus exactement, de 32 minutes.

VI. Au matin, nous voyons donc le soleil avant qu'il atteigne notre horizon, lorsqu'il en est encore distant d'un angle de 32 minutes; et le soir encore longtems après son vrai coucher, puisque nous le voyons encore jusqu'à ce qu'il soit descendu à un angle de 32 minutes. On nomme vrai lever ou coucher du soleil, lorsqu'il se trouve dans l'horizon, mais lorsqu'il commence à paraître le matin ou à disparaître le soir, c'est le lever ou coucher apparent.

VII. Cette réfraction de l'atmosphère, qui fait que le lever apparent du soleil précéde son véritable lever, cette réfraction, dis-je, nous procure l'avantage de jouir de jours plus longs qu'ils ne seraient sans cet effet de l'atmosphère. Voilà donc l'explication d'un phénomène bien important.

le 18 *Mai* 1762.



LETTRE CCXXXIV.

V. A. aura compris cet effet singulier de notre atmosphère, par lequel nous voyons le soleil et tous les autres corps célestes dans l'horizon, quoiqu'encore plongés au-dessous, ensorte qu'ils seraient invisibles pour nous sans la réfraction. C'est par la même raison que le soleil et toutes les étoiles nous paraissent toujours plus élevés au-dessus de l'horizon qu'ils ne le sont effectivement ; ce qui fait que l'on doit distinguer soigneusement la hauteur apparente d'une étoile, de la véritable à laquelle elle paraîtrait, s'il n'y avait point d'atmosphère. Je vais mettre ceci dans tout son jour.

I. Que l'arc AOB (*Planc., XI, fig. 6*), soit une partie de la surface de la terre, et O le lieu où nous nous trouvons, par lequel on tire une ligne droite HOR qui touche la surface de la terre, et cette ligne HOR nous indiquera le véritable horizon. Ou, qu'on mène en O verticalement la ligne droite OZ, qui est la même qu'un fil suspendu et chargé d'un poids indiqué. Cette ligne est nommée ici verticale, et le point du ciel Z, auquel elle aboutit, porte le nom de

zénith. Or, cette ligne O Z est perpendiculaire sur l'horizontale HOR, desorte que l'une étant connue, on peut aisément déterminer l'autre.

II. Cela posé, soit (*Planc. XI, fig. 7*), une étoile en S, s'il n'y avait point d'atmosphère, le rayon S M O passerait en ligne droite à l'œil O, et nous la verrions dans la même direction OMS, où elle se trouve actuellement, ou bien nous la verrions dans son véritable lieu. On mesure alors l'angle S O R, que fait le rayon SO avec l'horizon OR, et cet angle est nommé la hauteur de l'étoile, ou son élévation au-dessus de l'horizon. Ou bien on mesure l'angle SOZ, que fait le rayon SO, avec la ligne verticale OZ dirigée vers le zénith; et puisque l'angle ZOR, est droit ou de 90 degrés, on n'a qu'à soustraire l'angle SOZ de 90 degrés, pour avoir l'angle SOR, qui donne la véritable hauteur de l'étoile.

III. Tenons maintenant compte de l'atmosphère que je suppose terminée par l'arc HDNMR, et je remarque d'abord que le rayon précédent S M de l'étoile S en entrant en M, dans l'atmosphère, ne continue pas sa route vers l'œil en O, mais qu'il prendra à cause de la réfraction un autre chemin comme M P, et n'entrera point par conséquent

dans nos yeux ; désorte que si l'étoile ne lançait vers la terre que ce rayon S M, elle nous serait absolument invisible. Or, il faut considérer que chaque point lumineux darde ses rayons en tous sens ; et que tout l'espace en est rempli.

IV. Il se trouvera donc parmi les autres quelque rayon comme SN, qui est rompu ou réfracté au haut de l'atmosphère en N ; ensorte que sa continuation NO passe précisément là l'œil O. Le rayon réfracté N O ne se trouve donc pas en ligne droite avec celui S M, et si l'on continue N O vers *s*, la continuation N *s* fera un angle avec le rayon N S, savoir, l'angle SN*s*, qui est le même qu'on nomme la réfraction, et qui est d'autant plus grand, que l'angle SNR, sous lequel le rayon S N entre dans l'atmosphère, est plus aigu, comme je l'ai remarqué dans la lettre précédente.

V. Par conséquent, c'est le rayon NO qui dépeint dans nos yeux l'image de l'étoile S, et qui nous la rend visible ; et comme ce rayon nous vient dans la direction N O, comme si l'étoile s'y trouvait, nous jugeons aussi l'étoile située dans la direction NO, ou bien dans sa continuation quelque part en *s*. Ce lieu *s* étant différent du véritable S, on nomme

s

me *s* le lieu apparent de l'étoile, qu'il faut bien distinguer du véritable lieu S, où nous verrions l'étoile s'il n'y avait point d'atmosphère.

VI. Puis donc que nous voyons l'étoile par le rayon NO, l'angle NOR que fait ce rayon NO avec l'horizon, est la hauteur apparente de l'étoile; et quand on mesure, par le moyen des instrumens propres à cette opération, l'angle NOR, on dit qu'on a trouvé la hauteur apparente de l'étoile; la hauteur véritable étant, comme nous venons de le voir, l'angle ROS.

VII. De-là, il est évident que la hauteur apparente RON est plus grande que la hauteur véritable ROM; desorte que les étoiles nous paraissent plus élevées au-dessus de l'horizon qu'elles ne le sont en effet, par la même raison, que les étoiles nous paraissent déjà dans l'horizon, quand elles sont encore au-dessous. Or, l'excès dont la hauteur apparente surpasse la véritable, est l'angle MON, qui ne differe pas de l'angle SN*s*, qu'on nomme la réfraction. Car quoique l'angle SN*s*, comme étant l'externe au triangle SNO, soit égal aux deux internes opposés SON, et NSO pris ensemble, il faut considérer qu'à cause du terrible éloignement des étoiles, les lignes OS et NS sont paralleles, et conséquemment l'angle OSN s'évanouit,

de sorte que l'angle S O N est presque égal à l'angle de réfraction S N *s*.

VIII. Ayant donc trouvé la hauteur apparente d'une étoile, il faut en retrancher la réfraction, pour avoir sa véritable hauteur, qu'il n'eſt pas possible de connaître autrement que par ce moyen. Pour cet effet, les astronomes se sont donné beaucoup de peine, afin de découvrir exactement la réfraction qu'il faut retrancher de chaque hauteur apparente, ou dont il faut baisser davantage le lieu apparent de l'étoile pour le véritable.

IX. Après une longue ſuite d'observations, ils ont enfin dressé une table, qu'on nomme la table de réfraction, qui marque pour chaque hauteur apparente la réfraction ou l'angle qu'il faut en retrancher. Ainſi, lorsque la hauteur apparente est nulle, ou que l'étoile paraît dans l'horizon, la réfraction est de 32 minutes, dont il faut baisser l'étoile sous l'horizon. Mais pour peu que l'étoile paraisse élevée au-dessus de l'horizon, la réfraction devient beaucoup moindre. A la hauteur de 15 dégrés, elle n'est plus que de 4 minutes; à la hauteur de 40 dégrés, elle n'est que d'une minute; et pour de plus grandes hauteurs, elle devient toujours plus petite, jusqu'à ce qu'elle s'évanouisse entiérement à la hauteur de 90 dégrés.

X. C'est ce qui arrive lorsqu'une étoile est vue dans le zénith même; car sa hauteur est alors de 90 dégrés, et la hauteur véritable est la même que l'apparente; et nous sommes bien assurés qu'une étoile que nous voyons dans le zénith s'y trouve réellement, et que la réfraction de l'atmosphère n'en change point la place, comme dans toutes les autres situations.

FIN.

TABLE
DES MATIÈRES
DU
TOME TROISIEME.

FIN DE LA TABLE DES MATIERES DU TOME III.

ERRATA.

PAGE 2, ligne 18, *applatie*, lisez, *applati.*
Ibid. lig. 22, *nommée*, lis. *nommés.*
Pag. 4. lig. 15. *excessif qui*, lis. *excessif.*
Page 5, lig. 10 & 11, *lorsqu'on approche*, lis. *lorsqu'on s'en approche.*
Pag. 6, lig 26, *Note...*, 2868, lis. 2864.
Pag. 10, lig. 26, *ou comptant*, lis. *en comptant.*
Pag. 25, lig. 26, *on seulement*, lis. *ou seulement.*
Pag. 28 lig. derniere, *l'arc CD.* lis. *l'arc LD.*
Pag. 29, lig. 16, *au lieu E*, lis. *au lieu L.*
Ibid. ligne antépénultiéme, *entendu du*, lis. *entendu.*
Pag. 49, lig. première, *boréal*, lis. *boreal.*
Pag. 52, lig. 11, *manqueront*, lis. *marqueront.*
Pag. 56, lig. 15, *aucune*, lis. *aucun.*
Pag. 61, lig. antépénultiéme, *le*, lis. *la.*
Pag. 77, lig. 21, *marque; le*, lis. *marqué.*
Pag. 84, lig. 8, *imparfait*, lis. *imparfaite.*
Pag. 87, lig. 20, *cause*, lis. *carte.*
Pag. 107, lig. 19, *le*, lis. *les.*
Pag. 107, lig. 14 *une*, lis. *un.*
Pag. 114, lig. 19, *le*, lis. *les.*
Pag. 114, lig. pénultiéme, *jers*, lis. *vers.*
Ibid. derniere lig. *v'attirer mutuellement*, lis. *s'attirer mutuellement.*
Pag. 186, lign. 4, *de*, lis. *des.*
Page 190, lig. 5, *de*, lis. *de la.*
Pag. 201, lig. première, *à la*, lis. *la.*
Ibid. lig. 4 *ou* lis., *où*
Pag. 210, lig. 5, *contraires*, lis. *contraire.*
Pag. 232, lig. 24, *d'un*, lis. *du.*
Pag. 233, lig. 9, *cette*, lis. *cet.*
Ibid. lig. 12, *cette*, lis. *cet.*
Pag. 268, lig. 4 & 5, *entretenu*, lis. *contenu.*
Pag. 272, lig. 20 *représente*, lis. *représentent.*

Pag. 90, ligne dernière, *anéantit*, lis. *anéanti*.
Pag. 296, lig. première, *objet*, lis. *objectif*.
Pag. 300, lig. seconde, *sa* lis. *la*.
Pag. 312, lig. 26, *de l'autre*, lis. *dans l'autre*.
Pag. 328, lig. seconde, *de deux*, lis. *des deux*.
Ibid. lig. 13, *de deux*, lis. *des deux*.
Pag. 34, lig. 12, *le parois*, lis. la *paroi*.
Pag. 338, lig. 12, *de points*, lis. *des points*.
Pag. 365, lig. première, *une incendie*, lis. *un incendie*.
Ibid. lig. 9, *blanchis*, lis. *blanchies*.
Ibid. lig. 26, *noirs*, lisez *noires*.

Fin de l'Errata.

ON trouvera chez le même Libraire une suite d'Ouvrages qui, joints à celui du grand Euler, formeront sur les différentes parties des sciences le Cours le plus complet & le plus à la portée des Gens du monde : savoir, LA BOTANIQUE : un bel Ouvrage en couleurs naturelles dont il distribue le Prospectus.

SUR LA CHYMIE.

COURS de Chymie Théorique-Pratique à la portée de l'Education, par M. Alion, Médecin; dédié aux Enfans de Monseigneur le Duc d'Orléans, 1 vol. in-8. avec fig. broché. 5 liv.

Ce Cours explique d'une manière lumineuse & précise ce que la Chymie offre de plus curieux d'après les travaux les plus intéressans de MM. Maquer, Beaumé, Fourcroi, &c. On y trouve de plus quelques pratiques utiles, sur-tout pour la Chymie des Végétaux, sur la décomposition des remédes des Charlatans, sur les couleurs précieuses, comme le carmin, &c.

Expériences Physico-Méchaniques sur l'air, l'Electricité, le Phosphore, les Mines, &c. traduit de l'Anglois de Hauskbée, in-12. 2 vol. 6 liv.

Opuscules chymiques & physiques de M. T. Bergman, recueillis, revus & augmentés par lui-même, traduits par M. de Morveau

avec des Notes, 2 vol. in-8. Le ſeul nom de M. Bergman & le juſte éloge qu'en a fait M. Macquer, ſuffiſent pour faire apprécier cet Ouvrage.

Manuel de Botanique, à l'uſage des Amateurs & des Voyageurs, contenant les Principes de Botanique, l'explication du ſyſtême de Linné ; un Catalogue des différens végétaux étrangers ; les moyens de tranſporter les arbres & les ſemences ; la manière de former un herbier, &c. avec huit planches. Par M. le Breton, de l'Académie Royale des Sciences d'Upſal, Correſpondant de la Société Royale d'Agriculture, &c., in-8. fig. 6 l.

Cours d'Hydrographie ou de Navigation, profeſſé à Paris, & mis à la portée de tous les Navigateurs, par M. de Laſſalle, Profeſſeur de Mathématiques & d'Aſtronomie. 2 vol. in 8 6 l. & papier fin 9 l.

Cet ouvrage le plus complet de tous ceux qui ſont à la portée des Eléves de la Marine, & ſur-tout de la Marine Marchande, préſente avec autant de clarté que de préciſion la théorie des rapports, proportions & progreſſions, ſoit arithmétiques, ſoit géométriques, la formation & l'uſage des Logarithmes, &c. ; des détails ſur les Cartes marines, la Bouſſole & les Principes fondamentaux de la déduction des routes ; enfin tout ce qui a rapport à l'Aſtronomie nautique, au calcul du pilotage ; avec un Recueil des tables aſtronomiques les plus

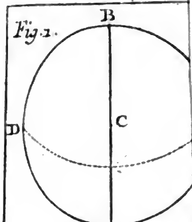
propres à la faciliter : ce Cours peut suppléer au Cours volumineux de Bezout, & autres Auteurs qui l'ont précédé, il abrége infiniment l'étude de cette science, même pour ceux qui sont accoutumés ou obligés de suivre les Cours.

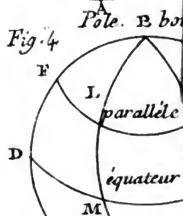
Nouveau Plan de Géographie méthodique & universelle disposée par Tablettes & colonnes qui désignent par division les Royaumes, Provinces Comtés, les Villes, leur Classe, leurs Jurisdictions Civile & Ecclésiastique, leur climat leur Commerce, &c. ; enfin, leurs longitude & latitude. Ouvrage suivi d'un Traité de Sphère, à la portée de tout le monde, & principalement de ceux, qui par état ou autrement, ne peuvent s'adonner à l'étude des Mathématiques. Par M. Baignoux; seconde édition, corrigée & considérablement augmentée. in 8. 1 vol. 8. liv. br., & rel. 10 liv.

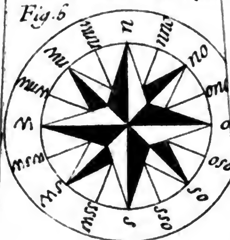
Dictionnaire Minéral & Hydraulogique de la France, ou Traité des vertus des Eaux Minérales des différentes Provinces de France, &c. in-8. 4 vol. 18 liv.

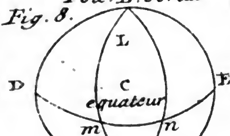
Traité Elémentaire de Chymie théorique & pratique, composé d'après les expériences des plus célébres Chymistes, tant anciens que modernes, 1 vol. in-8.

FIN.


Fig.1.
B
C
D
A


Pole. B bo
Fig.4
F
L
parallèle
D
équateur
M
Pole meridi A onal


Fig.6
n
nno
no
ono
o
oso
so
sso
s
ssw
sw
wsw
w
wnw
nw
nnw

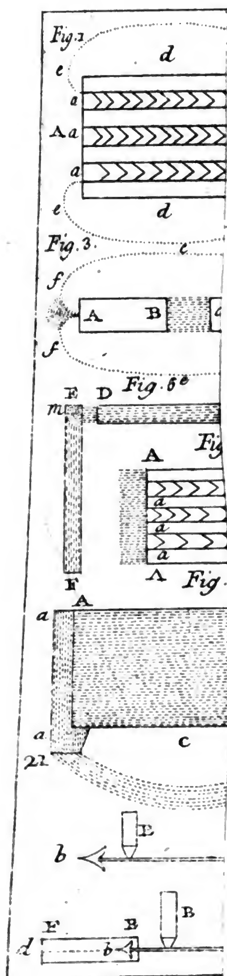

Pole. B. boreal
Fig. 8.
L
D
C
équateur
m
n
Pole. A méridion



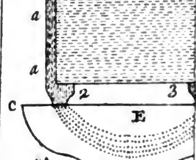

o
2
B
Jupi
ter
4
Fig. 1.
Soleil
b
c
d
B
a

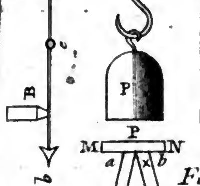


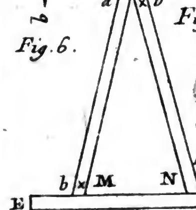


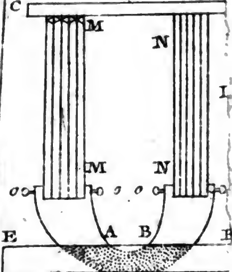

Fig. 1
Fig. 3
Fig. 6
Fig
Fig




A
Fig. 1
a
a
2
3
C
E


Fig. 2
B
P


Fig. 6.
P
M
N
a
b
b
M
N
E


Fig. 8.
C
M
N
M
N
E
A
B





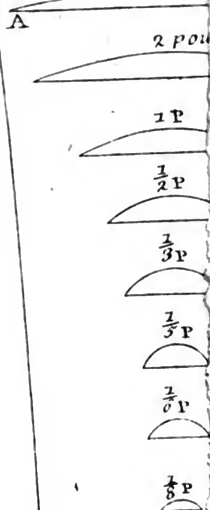


Fig. 11.

M



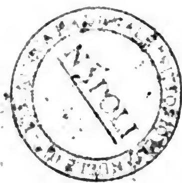


Fig. 1.

O

A

N

B

K J

O

Q S R

Fig. 7.

F

E

F

Fig. 6

p

o





Fig. 1.

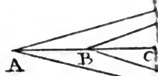


Fig.



Fig. 5.

P
o
I
A

P
M
II
o
A
n

III

IV

V

M
n

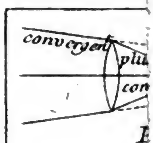
VI
P
o
V

VII
P

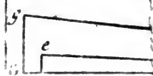
parallele











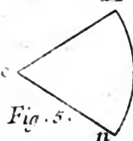


Fig. 5.

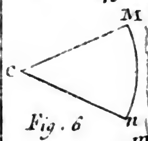
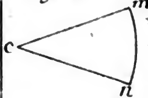


Fig. 6



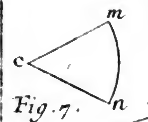
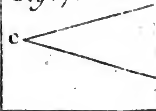


Fig. 7.





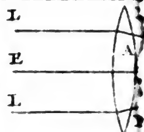


Fig. 3.

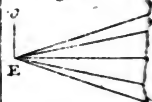


Fig. 8.

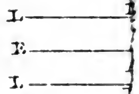


Fig. 9.

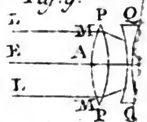


Fig. 15

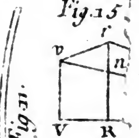
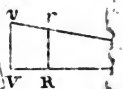
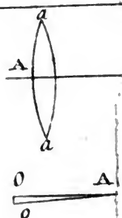


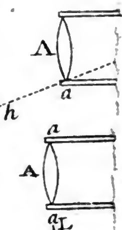
Fig. 11.

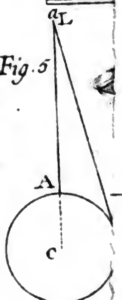







a
A
a
O
A
o


A
a
h
a
A
a


L
Fig. 5
A
C


N
D
Fig. 8
C

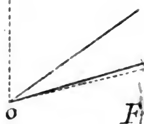


Fig. 1.



M

Fig. 2



F

